Aus Natur und Geisteswelt
Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen
20. Bändchen

Das Eisenhüttenwesen

Von
Professor Dr. H. Wedding
Geheimer Bergrat

Vierte, vollständig neu bearbeitete Auflage

von
Friedrich Wilhelm Wedding
Bergreferendar

Mit 24 Abbildungen



Druck und Verlag von B. G. Teubner in Leipzig 1912

Vorwort zur vierten Auflage.

Das vorliegende Werkchen, welches aus gemeinverständlichen Vorträgen meines verstorbenen Vaters und unvergeßlichen Lehrers hervorgegangen ist, bedurfte, um den jüngsten Fortschritten des theoretischen und praktischen Eisenhüttenwesens gerecht zu werden, an zahlreichen Stellen einer gründlichen Umarbeitung. Es erschien daher zur Erhaltung der Einheitlichkeit des Ganzen geboten, eine vollständige Neubearbeitung der vierten Auflage vorzunehmen.

Bei der Abfassung derselben war ich vor allem darauf bedacht, das Verständnis für den Gegenstand besonders denen zu erleichtern, die mit den grundlegenden chemischen und physikalischen Begriffen und Gesetzen nur wenig vertraut sind. Ich hoffe, mit dem 2. Kapitel über die theoretischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens diesem Ziel nahegekommen zu sein. Ganz neu hinzugetreten ist das 3. Kapitel über die Legierungen, insbesondere die Eisenkohlenstofflegierungen; hierin werden u. a. auch die Forschungsergebnisse der Metallographie, die gerade in jüngster Zeit dem Eisenhüttenwesen so vortreffliche Dienste geleistet hat, kurz gestreift. Neu ist ferner das 4. Kapitel. In diesem sind die vielen hervorragenden Eigenschaften des Eisens zusammengestellt, denen dieser Stoff seine außerordentlich große Bedeutung und seine Verwendung zu den verschiedensten Zwecken verdankt. Das 1. Kapitel mit der Geschichte des Eisens ist stark erweitert und durch statistische Angaben bereichert worden. Alle übrigen Kapitel wurden von Grund auf umgearbeitet. Die Darstellungsverfahren des schmiedbaren Eisens, die früher in zwei Kapitel unter den Überschriften Frischen bzw. Kohlungs- und Desoxydationsarbeiten getrennt waren, wurden in ein Kapitel zusammengebracht und zwar wurde jedes Verfahren zur Erhöhung der Übersichtlichkeit für sich abgeschlossen beschrieben. Die meisten der alten Abbildungen sind durch andere ersetzt worden, mehrere neue Abbildungen sind hinzu-

gekommen. Bei dem sehr geringen Umfang des Werkchens konnte vieles naturgemäß nur kurz gestreift werden. Wenn der Leser über diesen oder jenen Punkt ausführlichere Auskunft haben will und sich kein mehrbändiges Lehrbuch beschaffen möchte, so sei auf das Buch des Verfassers „Grundriß der Eisenhüttenkunde" (Verlag Ernst und Sohn, Berlin) verwiesen, das in sechster, vollständig neu bearbeiteter Auflage im Herbst dieses Jahres erscheinen wird.

Möge das vorliegende Werkchen auch in seiner neuen Gestaltung dazu beitragen, die Kenntnis vom Eisen weiteren Kreisen zugänglich zu machen. Hängt doch der wirtschaftliche Aufschwung Deutschlands, der in hohem Maße zur Gründung seiner Weltmachtstellung beigetragen hat, eng zusammen mit der Entwickelung des deutschen Eisenhüttenwesens.

Ilsenburg am Harz, im Februar 1912.

Bergreferendar **Wedding.**

Inhaltsübersicht.

I. Teil.

II. Teil.

Verzeichnis der Abbildungen.



I. Kapitel.

Die Geschichte des Eisens.

Jahrtausende alte Eisenfunde, bildliche Darstellungen und Inschriften längst untergegangener Kulturvölker sind lebendige Zeugen, daß schon in grauester Vorzeit die Menschen verstanden, sich das Eisen dienstbar zu machen.

In einer inneren Steinfuge der Cheopspyramide, die etwa 3000 v. Chr. gebaut wurde, hat man das Bruchstück eines eisernen Werkzeuges gefunden, das schon beim Bau hineingeraten sein muß, also ein Alter von fast 5000 Jahren hat. In anderen ägyptischen Pyramiden beobachtet man bisweilen noch alte Nägel und Bolzen aus Eisen, die bei dem Bau der Pyramiden zur Befestigung der Taue dienten. In Basreliefs aus Grabstätten jener Zeit deuten die mit stahlgrauer Farbe angelegten Teile von Pflügen, Sägen, Meißeln, Beilen und anderen Werkzeugen darauf hin, daß jene aus Eisen bestanden. In der Bibel wird das Eisen mehrfach erwähnt. So heißt es z. B. im Buch Hiob 28, 2: „Eisen bringet man aus der Erde und aus den Steinen schmelzet man Erz.“ Auch das härtere und festere, mit Stahl bezeichnete Eisen muß damals schon bekannt gewesen sein; darauf läßt der Bibelausspruch schließen: „Man schärft Eisen mit dem Eisen.“ In Damaskus blühte seit Urzeiten eine berühmte Eisenindustrie (Damaszener Klingen), ebenso aus Indien und China sind uns Überlieferungen von einer seit Jahrtausenden dort ausgeübten Eisentechnik erhalten. Auch im alten Griechenland war das Eisen allbekannt. Homer sagt bereits in der Ilias:

> „Hierauf stellt den Schützen der Held blauschimmerndes Eisen,
> Zehn zweischneidige Axt' und zehn der Beile zum Kampfpreis“.

In Italien hatten bereits die alten Etrusker eiserne Waffen und Geräte.

In Nordeuropa, besonders in den nachmaligen germanischen Ländern wurde Eisen schon neben Steinwerkzeugen in der vorgeschichtlichen Steinzeit verwertet, wie Funde aus Gräbern jener Zeit beweisen. Die alten Germanen waren mit dem Eisen gleichsam verwachsen, schon als sie in die Weltgeschichte eintraten. Eiserne Speere, Schwerter, Messer und Äxte verstanden sie von jeher meisterhaft zu schmieden.

Der Mangel an naturwissenschaftlichen Kenntnissen der Alten brachte es mit sich, daß die Darstellung des Eisens nur in verhältnismäßig bescheidenen Grenzen geschah und seine Verarbeitung mit den denkbar einfachsten Hilfsmitteln erfolgte. Geschichtliche Überlieferungen über die Darstellung des Eisens im Altertum sind nur spärlich vorhanden, wir können uns aber aus den Resten kleiner Eisenbereitungsstätten und der Art und Weise, wie heute noch unzivilisierte Völker das Eisen darstellen, ein Bild davon machen, wie jene Eisenerzeugung vor sich ging. Möglichst reines Eisenerz wurde in Gruben und offenen Herden (Rennfeuern) oder in kleinen aus Steinen, Lehm und feuerfestem Ton aufgebauten Öfen (Stücköfen) zusammen mit brennender Holzkohle erhitzt. Dabei wandelte sich das Erz in einen teigartigen Eisenklumpen um, der aus einzelnen zusammengeschweißten Eisenkörnern bestand und reichlich mit Schlacke durchsetzt war; er wurde in Deutschland Wolf oder Luppe genannt. Eine solche Luppe wurde durch Bearbeitung mit Hämmern ordentlich durchgeschmiedet und dann zu irgendwelchen Gegenständen weiter verarbeitet. Die Schmelzstätten lagen meist auf eisenerzreichen Bergkuppen, damit das Feuer durch starken Luftzug ordentlich angefacht würde. Die Waldungen der Berge lieferten zugleich die nötige Holzkohle. Später lernte man die Luft durch kleine Blasebälge zuführen, die zuerst durch Menschenkraft bewegt wurden.

Als die Öfen dann im Mittelalter zur Erzielung größeren Ausbringens etwas höher gebaut wurden, bedurften sie eines noch kräftigeren Windzuges, und man kam nun auf den Gedanken, die Blasebälge durch Wasserräder anzutreiben. In Deutschland vollzog sich diese Umwandelung etwa um das Jahr 1400. Die Eisenschmelzstätten zogen nun allmählich von den Bergen herab in die Flußtäler.

Bis dahin hatte man meist nur schmiedbares Eisen in teigigem Zustande (Schweißeisen) erzielt und nur nebenbei in geringen Mengen stark verunreinigtes flüssiges, nicht schmiedbares Eisen (Roheisen). Die bis auf 6 m Höhe angewachsenen Stücköfen und die höhere Windpressung bewirkten aber eine so günstige Wärmeausnutzung der Holzkohlen, daß alles Eisen von vornherein schmolz und man nur ein flüssiges Roheisen erhielt. Mit diesem Roheisen wußte man zuerst garnichts anzufangen, weil es wegen seiner Sprödigkeit nicht zu schmieden war. Dann aber lernte man Gegenstände damit zu gießen, und nun erschloß sich der Eisenverarbeitung auf einmal ein neues weites Feld. Zu Anfang des 15. Jahrhunderts goß man bereits aus Roheisen (Gußeisen) die ersten Kanonen und Kugeln. Dann folgten Rohre und

andere Gebrauchsgegenstände. Zu besonders hoher Blüte gelangte das Gießen künstlerisch entworfener eiserner Platten für Zimmeröfen.

Das ausgedehnte Verwendungsgebiet erforderte immer größere Stücköfen, und so entstanden denn allmählich aus jenen die Hochöfen. Natürlich waren die Hochöfen zur damaligen Zeit im Verhältnis zu den jetzigen Riesen noch verschwindend klein. So lieferte z. B. ein am Ausgange des 16. Jahrhunderts zu Ilsenburg am Harz bestehender Hochofen am Tage nicht viel mehr als 700 kg Eisen.

Wenn man auch einen nicht unbeträchtlichen Teil des Roheisens zum Gießen verwenden konnte, so blieb doch zu schlechten Zeiten oft ein mehr oder weniger großer Rest übrig. Was sollte aber daraus und aus den vielen bei der Gießerei entstehenden Roheisenabfällen werden? Schmieden ließ sich ja das Roheisen nicht! Da kam den Eisenschmelzern ein anderes schon lange in Anwendung stehendes Verfahren zu Hilfe. Die aus den alten Rennfeuern oder Stücköfen kommenden Luppen wurden nämlich, um sie weiter durch Schmieden zu verarbeiten, meist in kleinere Stücke geteilt und dann mit Holzkohle und unter Windzuführung noch einmal in besonderen Feuern, die den Rennfeuern ganz ähnlich waren, erhitzt. Beabsichtigte man hierbei ursprünglich nur ein Ausheizen der Stücke, so wurde dadurch das ungleichförmig zusammengesetzte Eisen doch auch verbessert, indem mehr von der eingeschlossenen Schlacke herausfloß und die roheisenartigen, kohlereichen Teile durch die Luft gefrischt d. h. von Kohlenstoff befreit wurden. Als man nun dieses Verfahren auch zur Verbesserung des Roheisens anzuwenden versuchte, da erhielt man tatsächlich durch die Frischwirkung der Luft ein sehr brauchbares schmiedbares Eisen, allerdings ebenfalls nur in teigigem Zustande. Nun ließ der Rennfeuer- und Stückofenbetrieb, durch den das schmiedbare Eisen unmittelbar aus den Erzen hergestellt wurde, allmählich nach und die indirekte Darstellung des schmiedbaren Eisens aus Roheisen trat mehr und mehr an ihre Stelle, bis sie in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts endgültig allein das Feld behauptete.

Man begann nun allmählich auch zur Verarbeitung des Eisens die Wasserkraft auszunutzen, indem man Hämmer und ähnliche Einrichtungen durch die Wasserräder antreiben ließ. Nichtsdestoweniger waren die Hilfsmittel zur Verarbeitung des Eisens außerordentlich einfach, und man muß sich wundern, daß die damaligen Schmiede es trotzdem zu solcher Fertigkeit gebracht haben. Die eisernen Rüstungen und Waffen des Mittelalters zeugen von einer unerreichten Vollendung der Schmiedekunst.

Am Ausgange des Mittelalters war Deutschland das wichtigste Eisen erzeugende Land. Zu jener Zeit benutzte man aber immer noch ausschließlich die Holzkohle zur Darstellung des Roheisens und zum Frischen. Als sich nun aber die Wälder mehr lichteten, mußte man sich nach einem anderen Brennstoff umsehen. Es lag nahe, als Ersatz der Holzkohle die Steinkohle zu verwenden; aber sie taugte aus mancherlei Gründen nicht dazu, vor allem wegen ihres hohen Schwefelgehalts, der in das Eisen überging und es unbrauchbar machte. In dem Bestreben, diesen gefährlichen Feind des Eisens zu entfernen, erhitzte man sie unter Luftabschluß und erhielt so den Koks, der nicht nur einen geringeren Schwefelgehalt aufwies als die Steinkohle, sondern auch noch andere vorzügliche Eigenschaften hatte, die ihn zur Verwendung beim Hochofenprozeß besonders geeignet machten. Die Engländer, in deren Land der Holzmangel sich schon früh fühlbar machte, waren die ersten, welche Koks statt der Holzkohle bei der Roheisendarstellung verwendeten und zwar schon am Anfang des 18. Jahrhunderts. In Deutschland kam der erste Kokshochofen erst 1796 in Betrieb und zwar in Gleiwitz (Oberschlesien).

Den Koks auch zum Frischfeuerbetrieb an Stelle der Holzkohle zu verwenden, gelang nicht, denn der Schwefelgehalt desselben war immerhin noch so groß, daß er hinreichte, schmiedbares Eisen untauglich zu machen. Aber es wurde höchste Zeit, auch die Darstellung des schmiedbaren Eisens in Unabhängigkeit von der Holzkohle zu bringen, besonders in England, wo das Holz immer spärlicher und teurer wurde. Aus dieser mißlichen Lage befreite der Engländer Cort die Eisenindustrie seines Vaterlandes, indem er im Jahre 1783 ein neues Frischverfahren, das „Puddeln," erfand. Bei diesem konnte die Steinkohle als Brennstoff dienen, denn sie selbst kam mit dem Eisen nicht in Berührung, sondern nur ihre heißen Feuergase. Mit dem Puddelverfahren, das im Flammofen vor sich ging, konnte man in gleicher Zeit mit der gleichen Arbeiterzahl zehnmal mehr schmiedbares Eisen herstellen als mit dem Frischfeuerbetrieb.

Es war ein merkwürdiger Zufall, daß zu derselben Zeit, als das Puddelverfahren aufkam, von James Watt die Dampfmaschine erfunden wurde. Wieder brach eine neue Glanzzeit für das Eisenhüttenwesen an. Mit dem Dampf konnten die Gebläse, die Hämmer und späterhin die Walzwerke angetrieben werden, und nun waren die Eisenhütten nicht mehr abhängig von den Flußläufen in einsamen Waldtälern. Sie konnten sich dahin ziehen, wo es Steinkohle gab, mit der sie nicht nur ihre Maschinen betreiben, sondern mit der sie auch

ihr Gußeisen im Hochofen und ihr schmiedbares Eisen durch das Puddeln gewinnen konnten. Die Grundlagen für eine großzügige Eisenindustrie waren hiermit zum ersten Male gegeben. Kein Land konnte hiervon einen besseren Gebrauch machen, als England, das zu jener Zeit politisch und wirtschaftlich gekräftigt dastand, dessen Eisenerzlager und Steinkohlenflöze selten glücklich vereint bei einander lagen und dessen Erzeugnisse in vorteilhaftester Weise abgesetzt werden konnten. So kam es, daß England gegenüber dem europäischen Festlande in jener Zeit einen mächtigen Vorsprung im Eisenhüttenwesen gewann und diesen bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts beibehielt.

Neben dem Puddelverfahren wurde im 18. Jahrhundert noch eine andere wichtige Erfindung gemacht; es war die Darstellung des Gußstahls (jetzt Tiegelstahl genannt) durch den Engländer Huntsman. Zum ersten Male war es hierbei gelungen, durch ein hüttenmännisches Verfahren schmiedbares Eisen im flüssigen Zustande (Flußeisen) herzustellen und daher ein schlackenfreies Produkt zu erhalten. Der Tiegelstahl kam in Deutschland im Anfange des 19. Jahrhunderts besonders zu Ehren durch Friedrich Krupp in Essen. Dieser verstand es, durch Zusammengießen mehrerer Tiegel einen großen Block zu schaffen, der nach dem Auswalzen das denkbar beste, hochwertigste Eisenmaterial ergab. Den flüssigen Tiegelstahl ähnlich wie das Roheisen zum Gießen von Gegenständen zu verwenden, gelang erst um das Jahr 1850 in Bochum.

Waren durch die Erfindung der Dampfmaschine und durch Anwendung der Steinkohle schon günstige Grundbedingungen für eine gedeihliche Entwicklung des Eisenhüttenwesens gegeben, so kamen im 19. Jahrhundert noch andere Faktoren hinzu, die dem Eisen zu einem glänzenden Siegeszuge über die ganze Erde verhalfen. Zunächst war es der Bau unzähliger eiserner Arbeits- und Kraftmaschinen, der Eisenbahnen, eiserner Schiffe, und die Entwicklung vieler anderer Gewerbszweige, die der Eisenindustrie neue weite Absatzgebiete verschafften. Sodann war es die metallurgische Wissenschaft, die mit großem Erfolge die durch Chemie und Physik erforschten Naturgesetze auf die Hüttenprozesse anwendete und sie dadurch förderte. Es bildete sich jetzt eine selbständige Lehre vom Eisen heraus, die Eisenhüttenkunde genannt wurde.

Eine der für das Eisenhüttenwesen in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gemachten wichtigsten Errungenschaften war die Verwendung der aus dem Hochofen strömenden Gichtgase, die man bis dahin

achtlos in die Luft entweichen ließ, die jetzt aber dazu verwendet wurden, den Gebläsewind des Hochofens zu erhitzen und Dampf zu erzeugen und die späterhin auch zur Heizung metallurgischer Öfen und zum Antrieb riesiger Gaskraftmaschinen verbraucht wurden.

So rückte die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts heran. Immer größer wurde der Bedarf an Eisen. Hatte man durch den Hochofenprozeß, das Puddelverfahren, die Anwendung der Dampfmaschine bis dahin noch immer den Bedarf des schmiedbaren Eisen glatt decken können, so war es zum mindesten fraglich, ob dies in Zukunft mit denselben Mitteln möglich gewesen wäre. Wieder war es da der englische Erfindungsgeist, der der Eisenindustrie zu neuem ungeahntem Aufschwung verhalf. Im Jahre 1855 erfand der geniale Bessemer das nach ihm genannte Frischverfahren. Brauchte man bis dahin 24 Stunden, um in einem Puddelofen etwa 4000 kg schmiedbares Eisen zu erzeugen, so gelang es jetzt in einer Bessemerbirne dieselbe Menge in 20 Minuten darzustellen. Und jenes Eisen war noch dazu ein schlackenfreies Flußeisen, das zwar nicht die Güte des ebenfalls flüssig hergestellten Tiegelstahls erreichte, aber immerhin bei richtiger Behandlung bei weitem bessere Festigkeitseigenschaften aufwies als das Puddeleisen und außerdem viel billiger herzustellen war als der Tiegelstahl. Es war erklärlich, daß man an dieses Verfahren nun die allergrößten Hoffnungen knüpfte, doch sie gingen zum Teil nicht in Erfüllung. Vor allem war es unmöglich, in der Bessemerbirne den Phosphor aus dem Eisen zu vertreiben, jenen neben dem Schwefel so gefürchteten Gegner der Festigkeitseigenschaften des Eisens. Für Länder, welche aus phosphorarmen Erzen ein fast phosphorfreies Roheisen erzeugen und dieses dann als Ausgangserzeugnis für den Bessemerprozeß verwenden konnten, hatte das Verfahren wohl großen Wert, aber zu diesen glücklichen Ländern zählte Deutschland nicht, denn der größte Teil seiner Erze ist phosphorhaltig. In Deutschland kam daher das Verfahren nur in ganz geringem Umfange zur Anwendung.

Man wußte bereits damals, daß die Unmöglichkeit der Entphosphorung nur an der sauren Ausfütterung der Birne lag, aber es gelang nicht, ein geeignetes widerstandsfähiges Futter zu finden, bei dessen Gegenwart die Entfernung des Phosphors möglich gewesen wäre. Erst im Jahre 1878 erfand der Engländer Thomas ein solches. Selten hat wohl ein bedeutender Mann seinem Vaterlande durch seine Erfindung so geschadet wie jener Thomas. Jetzt brauchte Deutschland kein reines Roheisen aus Engand mehr zu beziehen, sondern es konnte aus dem unerschöpflichen Reichtum seiner phosphorhaltigen Erze sich

selbst das Roheisen herstellen und es durch den Thomasprozeß mit wirtschaftlichem Erfolge in schmiedbares Eisen umwandeln. Deutschland wurde so auch in der Eisenindustrie nicht nur unabhängig von England, sondern überholte jenes Land zu Beginn unseres Jahrhunderts noch in der Produktion. Im Laufe der Jahre wurden die Thomasbirnen immer größer, jetzt verarbeitet man in einer Birne bis zu 25000 kg Roheisen in 20—25 Minuten zu schmiedbarem Eisen. Die Hochöfen wuchsen gleichzeitig ins Riesenhafte. Ein neuzeitlicher Hochofen erzeugt in 24 Stunden 200000 bis 500000 kg und darüber.

Neben dem Thomasprozeß kam im Jahre 1865 noch ein zweites Verfahren zur Darstellung flüssigen schmiedbaren Eisens auf: das Siemens-Martin-Verfahren. Dieses geht im Herdofen vor sich, in dem durch eine besondere Heizvorrichtung mit Gasen sehr hohe Temperaturen erzielt werden können. Das Martinverfahren hat vor dem Thomasverfahren mancherlei Vorzüge und erlangte daher neben ihm eine außerordentlich große Bedeutung.

Wie einst das Puddelverfahren die alten Frischverfahren zurückdrängte, so haben der Thomas- und Siemens-Martin-Prozeß das Puddeln jetzt fast ganz in den Hintergrund gestellt. In den Thomasbirnen und den Siemens-Martinöfen erfolgt heute allein die Massenerzeugung des schmiedbaren Eisens. Auch das alte Tiegelverfahren, mit dem man bisher das vorzüglichste Qualitätseisen hergestellt hatte, hat in den jüngsten Jahren in den Elektrostahlöfen gefährliche Nebenbuhler erhalten.

So hat uns denn der kurze Überblick über die Geschichte des Eisens bis zur Gegenwart geführt, die man mit Recht „das eiserne Zeitalter" genannt hat. Wohin wir in einem zivilisierten Lande blicken, sehen wir Eisen und wiederum Eisen. Welche Eisenmengen stecken allein in den Eisenbahnen und ihren Betriebsmitteln mit ihren eisernen Schienen und Schwellen, ihren eisernen Lokomotiven und Wagen, den eisernen Achsen und Rädern und zahllosen anderen Eisenteilen! Wie ungeheuer sind die Eisenmassen, aus denen unsere neuzeitlichen Riesenschiffe aufgebaut sind, aus denen die Hunderttausende von Arbeits- und Kraftmaschinen aller Gewerbezweige zusammengesetzt sind! Viele Millionen Tonnen Eisen sind in all den Eisenkonstruktionen, den eisernen Brücken, Hallen und Türmen und den Vorrichtungen zum Massentransport von Gütern enthalten, Millionen in dem Kriegsmaterial der Heere und Flotten, Millionen in tausenderlei eisernen Gerätschaften und Werkzeugen, die in allen Gewerben und in jedem Haushalt benötigt werden.

„Eisen und Kohle, das sind die Pole, um die sich das gesamte wirtschaftliche Leben unserer Zeit dreht," sagte Fürst Bismarck bereits im Jahre 1890. Dieser Ausspruch wird schon dadurch bestätigt, daß der Wert des jährlich erzeugten Roheisens mehr als das eineinhalbfache und der Wert der daraus hergestellten Eisen- und Stahlwaren mehr als das fünfeinhalbfache des Wertes der jährlich gewonnenen Menge an den Edelmetallen Gold und Silber beträgt, obwohl das Kilogramm Roheisen nur 4—8 Pfennig kostet, das Kilogramm Gold aber etwa 2790 Mark und das Kilogramm Silber gegenwärtig etwa 80 Mark. Der Wert der auf der ganzen Erde jährlich erzeugten Eisen- und Stahlwaren beträgt schätzungsweise rund 10 Milliarden Mark.

Die vielseitige Verwendbarkeit des Eisens hat eine fortwährende ungeheure Zunahme der Jahresproduktion zur Folge gehabt, wie die nachfolgenden Zahlen beweisen.

Es wurden auf der Erde erzeugt:

im Jahre	1850	1870	1890	1910
Tonnen Roheisen (Tonne zu 1000 kg)	4 401 400	11 900 000	27 150 000	65 859 500

Die Roheisenproduktion ist danach also im Laufe der letzten 60 Jahre um das fünfzehnfache gestiegen.

In entsprechender Weise hat auch die Erzeugung des schmiedbaren Eisens aus Roheisen zugenommen. Die Flußeisenerzeugung allein hatte im Jahre 1910 die Höhe von **58 252 300 t** (zu je 1000 kg) erreicht.

	Roheisen in t	Flußeisen in t
Vereinigte Staaten von Amerika . . .	27 636 700	26 512 400
Deutschland einschließlich Luxemburg .	14 793 300	13 698 600
Großbritannien und Irland	10 380 200	6 106 900
Frankreich	4 032 500	3 506 500
Rußland	2 740 000	2 350 000
Österreich-Ungarn	2 010 000	2 154 800
Belgien	1 803 500	1 449 500
Kanada	752 000	835 500
Schweden	604 000	468 600
Spanien	367 000	219 500
Italien	215 000	635 000
Alle übrigen Länder	525 000	315 000
Insgesamt:	65 859 500	58 252 300

Mit welchen Produktionsziffern[1]) die einzelnen Länder an der Eisenerzeugung beteiligt sind, geht aus der vorhergehenden Zusammenstellung hervor, die die Roheisen- und Flußeisenerzeugung im Jahre 1910 in Tonnen angibt.

Danach steht Amerika an erster Stelle unter den eisenerzeugenden Ländern. Deutschland folgt an zweiter Stelle mit etwa einer halb so hohen Produktion. Englands und Frankreichs Roheisenerzeugung zusammengenommen erreichen noch nicht die deutsche.

Über die Beteiligung der verschiedenen Länder an der Eisenerzgewinnung und Kokserzeugung der Erde geben die beiden nächsten Tabellen Aufschluß:

Eisenerzgewinnung der wichtigsten Eisenländer im Jahre 1909

	Tonnen zu 1000 kg
Ver. Staaten v. Amerika	52118000
Deutsches Reich einschl. Luxemburg	25512000
Großbritan. u. Irland	15042000
Frankreich	11890000
Spanien	9385000
Rußland	5121000
Schweden	3885000
Österreich Ungarn	4456000
Algier	891000
Griechenland	531000
Insgesamt:	128831000

Kokserzeugung der Erde im Jahre 1909

	Tonnen zu 1000 kg
Ver. Staaten v. Amerika	35666000
Deutschland	21408000
Großbritan. u. Irland	19170000
Belgien	2973000
Rußland	2630000
Frankreich	2472000
Österreich	1985000
Kanada	782000
Alle übrigen Länder	3677000
Insgesamt:	90763000

Deutschland steht also auch in der Eisenerzförderung und Kokserzeugung unter allen Ländern der Erde an zweiter Stelle. Im Jahre 1910 führte Deutschland neben den im Zollgebiete geförderten Eisenerzen noch 9816800 t Eisenerze aus dem Auslande ein. Von diesen stammten etwa 3250000 t allein aus Schweden, 2860000 aus Spanien, 1775000 aus Frankreich. Da für das im Inland geförderte Erz durchschnittlich ein Eisengehalt von 33 %, für das aus dem Auslande bezogene aber ein solcher von 55 % angenommen werden kann, so stammt also rund ein Drittel von dem in Deutschland erzeugten Eisen aus ausländischen Erzen.

Wie sich das Roheisen in Deutschland auf die einzelnen Sorten verteilt und welche Mengen desselben durch die verschiedenen Ver-

1) Die statistischen Angaben sind meist der Zeitschrift „Stahl und Eisen" entnommen.

fahren in schmiedbares Eisen umgewandelt werden, ergibt die nachstehende Übersicht.

Im letzten Jahre (1911) wurden in Deutschland in rund 270 Hochöfen erzeugt:

Roheisen
15 534 223 t

Hiervon entfielen auf:

Thomas-Roheisen	Bessemer-Roheisen	Martin-Roheisen (Stahleisen)	Puddel-Roheisen	Gießerei-Roheisen
9851113 t	374455 t	1733280 t	511792 t	3063583 t
in rund 100 Thomasbirnen	in 15 Bessemerbirnen	in rund 500 Siemens-Martinöfen	in rund 250 Puddelöfen	in rund 1600 Gießereien nach Umschmelzen im Kupolofen unter Schrottzusatz zur Herstellung gußeiserner Gegenstände verwendet

(Thomas-, Bessemer-, Martin- und Puddel-Roheisen:) durch Frischen in schmiedbares Eisen umgewandelt, teilweise unter beträchtlichem Zusatz von Schrott (= Alteisen und Eisenabfälle) besonders im Siemens-Martinofen

Danach wird also in Deutschland durch die verschiedenen Frischverfahren viermal so viel Roheisen in schmiedbares Eisen umgewandelt als zu Gießereizwecken verwendet wird.

II. Kapitel.

Die theoretischen Grundlagen des Eisenhüttenwesens.

Die großen Fortschritte, die das Eisenhüttenwesen im vergangenen 19. Jahrhundert bis zur Gegenwart gemacht hat, verdankt es, wie viele andere Gewerbezweige, abgesehen von mancherlei günstig einwirkenden politischen und wirtschaftlichen Grundlagen vornehmlich der ständig fortschreitenden Erkenntnis der Naturgesetze durch Chemie, Physik und physikalische Chemie. Mit den für das Hüttenwesen wichtigsten Begriffen und Grundgesetzen dieser drei Zweige der Naturwissenschaft wollen wir uns daher hier beschäftigen.

Materie und Energie. Chemie und Physik. In der Außenwelt können wir mit unseren Sinnen zahlreiche Dinge wahrnehmen. Diese alle lassen sich in zwei Begriffen zusammenfassen, die wir als Materie und Energie bezeichnen. Materie ist der Gesamtbegriff für das Stoffliche, wie z. B. Luft, Wasser, Kohle, Eisen; Energie dagegen nennen wir die Gesamtheit aller jener Mächte, die unter bestimmten Bedingungen Wirkungen auszuüben oder, wissenschaftlich aus-

gedrückt, Arbeit zu leisten imstande sind. Arbeit kann die Luft als Wind leisten und das Wasser als bergab strömender Fluß, indem sie z. B. eine Mühle antreiben, Arbeit vermag die brennende Kohle zu leisten, indem sie Wärme entwickelt, die z. B. durch Vermittlung der Dampfmaschine tausenderlei Arbeitsmaschinen antreiben kann. Energie ist kurz alles, was sich in Arbeit verwandeln oder aus Arbeit erzeugen läßt. Die verschiedenen Formen der Energie sind außer der mechanischen Arbeit lebendige Kraft (einschl. Schall und Licht), Wärme, Elektrizität (einschl. Magnetismus), chemische Arbeit.

Die Stoffe und ihre Veränderungen lehrt uns die Chemie kennen, die Energie und ihre Umwandlungen die Physik. Zwischen beiden liegt ein großes Grenzgebiet, die physikalische Chemie, die uns erst in jüngster Zeit wertvolle Aufschlüsse über viele Vorgänge gebracht hat. Das oberste Gesetz der Chemie ist das von der Erhaltung der Materie. Es besagt, daß kein Stoff, mag er sich verwandeln wie er will, verloren geht. Entsprechend lehrt das wichtige Grundgesetz der Physik: die Menge der Energie ist konstant d. h. es geht keine Energie verloren, mag sie sich auch noch so oft von einer Form in die andere verwandeln.

Gleichartige und ungleichartige Stoffe. Alle Stoffe, von denen wir uns umgeben sehen, können wir zwei großen Klassen zuteilen, den gleichartigen oder homogenen und den ungleichartigen oder inhomogenen Stoffen. Die gleichartigen Stoffe weisen in ihren kleinsten Teilen, die wir auf mechanischem Wege überhaupt abtrennen und unterscheiden können, stets gleiche Eigenschaften auf. Mögen wir sie auch mit dem schärfsten Mikroskope betrachten, wir werden keinen Unterschied in irgend einem ihrer Punkte finden. Als Beispiele homogener Stoffe seien herausgegriffen Gold, Wasser, Luft (in reinem Zustande).

Die ungleichartigen Stoffe sind im Gegensatz dazu aus verschiedenartigen Bestandteilen zusammengesetzt, die wir vielfach durch mechanische Mittel einfach voneinander trennen können und die wir, wenn auch nicht immer mit unbewaffnetem Auge, so doch mit Hilfe des Mikroskops von einander unterscheiden können. Derartige Stoffe bezeichnet man als mechanische Gemenge. Charakteristische Beispiele ungleichartiger Stoffe sind das aus Salpeter, Schwefel und Kohle bestehende Schießpulver, ferner der aus Feldspat, Quarz und Glimmer zusammengesetzte Granit. Die gleichartigen (homogenen) Stoffe, mit denen wir uns hier vornehm-

lich beschäftigen wollen, sind einerseits die chemischen Elemente und Verbindungen, andererseits die physikalischen Gemische.

Chemische Elemente und Verbindungen. Chemische Elemente nennen wir die einfachsten Grundstoffe, die sich mit keinen uns zu Gebote stehenden Mitteln weiter in andere Stoffe zerlegen lassen. Gegenwärtig sind uns nicht mehr als etwa 80 Elemente bekannt. Aus einem von diesen oder mehreren ist die ungeheuer große Zahl aller Stoffe der Welt aufgebaut. Die Mehrzahl der Elemente vereinigt man wegen mancherlei gemeinsamer charakteristischer Eigenschaften unter der Bezeichnung Metalle, die übrigen nennt man Nichtmetalle (Metalloide). Zu den Metallen zählen u. a. Gold, Silber, Kupfer, Blei und vor allem das Element Eisen, das den Hauptbestandteil des technisch verwerteten Eisens bildet. Andere Metalle, die im Eisenhüttenwesen eine Rolle spielen, sind Mangan, Aluminium, Nickel, Chrom, Wolfram, Molybdän, Vanadium. Von den Nichtmetallen sind für den Eisenhüttenmann am wichtigsten Sauerstoff, Kohlenstoff, Silizium, Phosphor und Schwefel. Chemische Verbindungen nennt man alle diejenigen gleichartigen Stoffe, in denen zwei oder mehr Elemente mit je einer ganz bestimmten, immer wiederkehrenden Gewichtszahl oder einem ganzen Vielfachen derselben vereinigt sind. Hierunter sind einige bekannte Verbindungen aus 2 bzw. 3 Elementen aufgestellt, die jene Gesetzmäßigkeit in der Zusammensetzung erkennen lassen.

Name der Verbindung	Es sind in der Verbindung enthalten:
Eisenoxydul	16 Gwt.[1]) Sauerstoff und 55,85 Gwt. Eisen
Eisenoxyd	2 · 16 Gwt. Sauerstoff und 3 · 55,85 Gwt. Eisen
Eisenoxyduloxyd	3 · 16 Gwt. Sauerstoff und 4 · 55,85 Gwt. Eisen
Schwefeldioxyd .	2 · 16 Gwt. Sauerstoff und 32,07 Gwt. Schwefel
Schwefelkies . . .	55,85 Gwt. Eisen und 2 · 32,07 Gwt. Schwefel
Wasser	2 · 1,008 Gwt. Wasserstoff und 16 Gwt. Sauerstoff
Schwefelsäure . .	2 · 1,008 Wasserstoff, 32,07 Schwefel, 4 · 16 Sauerstoff
Zellulose	6 · 12 Kohlenstoff, 10 · 1,008 Wasserstoff, 5 · 16 Sauerstoff

Jedes in einer Verbindung auftretende Element ist also mit einer ihm charakteristischen Zahl gleichsam verwachsen.

Moleküle und Atome, Molekularhypothese, Atomgewichte. Jene den chemischen Verbindungen eigentümliche Regel-

1) Gwt. = Gewichtsteile, z. B. Gramm.

mäßigkeit in der Zusammensetzung können wir uns leicht durch die Molekularhypothese erklären. Auf Grund derselben füllt ein Stoff nicht in zusammenhängender Masse den von ihm eingenommenen Raum aus, sondern er ist aus getrennten Massenteilchen aufgebaut, die so winzig sind, daß wir sie einzeln auf keine Weise zu erkennen vermögen. Jene einzeln nicht sichtbaren Massenteilchen nennen wir Moleküle.

Vereinigen sich nun zwei oder mehr Elemente zu einer chemischen Verbindung, so legen sich je ein oder mehrere kleinste Teilchen jener Elemente, die Atome, zu einem kleinsten Teilchen der Verbindung, einem Molekül, zusammen. Die Atome eines und desselben Elements werden naturgemäß gleichartig sein, auch stets gleiche Größe und gleiches Gewicht haben, die Atome verschiedener Elemente werden jedoch in jeder Hinsicht, auch in bezug auf ihr Gewicht abweichende Eigenschaften aufweisen. Viele Beobachtungen berechtigen nun zu der Annahme, daß alle Moleküle einer und derselben chemischen Verbindung gleiche Zusammensetzung haben oder, anders ausgedrückt, daß jedes einzelne Molekül einer Verbindung dieselbe Zusammensetzung (in Gewichtsprozenten) hat, wie die ganze Verbindung. Die Elementaratome müssen dann also in einem Molekül in demselben Gewichtsverhältnis vereinigt sein, in dem die Elemente mit ihrer ganzen Masse zu der Verbindung zusammengetreten sind. Da aber stets eine bestimmte Anzahl ganzer Elementaratome sich zu einem Molekül einer Verbindung zusammenlegt, so muß die Zusammensetzung einer chemischen Verbindung stets eine ganz bestimmte sein und die Elemente müssen immer im Verhältnis der Gewichte ihrer Atome im Molekül oder eines ganzen Vielfachen jener Atomgewichte darin enthalten sein. Damit wäre also das Rätsel der stets wiederkehrenden Gewichtsverhältniszahlen in chemischen Verbindungen gelöst, es fragt sich nur noch, wie wir gerade auf die obigen Atomgewichtszahlen kommen, wie sie sich in der Zusammenstellung auf Seite 12 vorfinden. Die absoluten Gewichte der Atome stellen diese Zahlen natürlich nicht dar, diese sind so gering, daß man sie nicht hat feststellen können. Man hat daher das Atomgewicht des leichtesten aller Elemente, des Wasserstoffs, willkürlich gleich 1 gesetzt und hat danach die Atomgewichte anderer Elemente berechnet, vor allem das des Sauerstoffs, für das man die Zahl 16[1])

1) Durch spätere genauere Untersuchungen stellte man fest, daß das Verhältnis von Wasserstoff zu Sauerstoff nicht 1 : 16 sondern 1 : 15,88 war oder 1,008 : 16. Da man die übrigen Atomgewichte meist vom Sauerstoff

erhalten hat. Vom Sauerstoff hat man dann alle übrigen Atomgewichte abgeleitet, und so sind denn jene Gewichtsverhältniszahlen entstanden.

Chemische Zeichen und Formeln. Aus praktischen Gründen hat man jedem Element ein Symbol gegeben, das aus dem Anfangsbuchstaben und, wenn dies zur Unterscheidung nötig ist, noch einem zweiten Buchstaben seines lateinischen Namens gebildet ist: z. B. Eisen = ferrum = Fe, Sauerstoff = oxygenium = O, Kohlenstoff = carbonium = C, Wasserstoff = hydrogenium = H usw. Man versteht unter diesen Symbolen aber nicht nur das betreffende Element, sondern auch ein Atom desselben nebst dessen Gewicht, bezogen auf Sauerstoff O = 16. Das Symbol Fe bedeutet daher nicht nur das Element Eisen sondern auch ein Atom Eisen mit 55,85 Gewichtsteilen. Eine chemische Verbindung kennzeichnet man einfach durch Nebeneinanderstellen der Symbole derjenigen Elemente, aus denen sie zusammengesetzt ist. So bezeichnet man die aus einer Vereinigung von Eisen und Sauerstoff hervorgegangene Verbindung Eisenoxydul mit der Formel FeO. Auch hier wieder stellt die Formel nicht nur den Stoff dar, sondern auch ein Molekül desselben, in dem ein Atom Eisen mit 55,85 Gewichtsteilen und ein Atom Sauerstoff mit 16 Gewichtsteilen enthalten sind. Handelt es sich um mehr als 1 Molekül, so schreibt man die betreffende Zahl vor die Formel z. B. 3 CO. Sind mehrere Atome eines Elementes in einem Molekül einer Verbindung vorhanden, so bezeichnet man deren Anzahl durch rechts unten an das Symbol gehängte Zahlen z. B. H_2O (Wasser), $C_6H_{10}O_5$ (Zellulose) usw.

Wichtige chemische Verbindungen. Viele Verbindungen, die in ihrer Zusammensetzung oder ihren Eigenschaften gemeinschaftliche Merkmale haben, faßt man in größere Gruppen zusammen. So nennt man z. B. die Verbindungen von Elementen mit Sauerstoff Oxyde: Eisenoxyd Fe_2O_3, Kohlenoxyd CO, Kohlendioxyd (Kohlensäure) CO_2, Aluminiumoxyd Al_2O_3, Siliziumdioxyd (Kieselsäure) SiO_2. Schwefelverbindungen bezeichnet man als Sulfide: Eisensulfid FeS_2, Kohlenstoffverbindungen als Karbide: Kalziumkarbid CaC_2, Eisenkarbid Fe_3C.

Eine sehr bekannte Gruppe chemischer Verbindungen sind die Säuren. Diese haben die Eigenschaften gemeinsam, sauer zu schmecken,

---

gleich 16 abgeleitet hatte, so hätte man wieder alle Zahlen umrechnen müssen. Man hat daher seitdem die Zahl 16 als Grundlage aller Atomgewichte beibehalten, und hat für das Atomgewicht des Wasserstoffs den Wert 1,008 gesetzt.

einen violetten Pflanzenfarbstoff, den Lackmus, rot zu färben, und das Element Wasserstoff (H) zu enthalten, das ganz oder teilweise durch Metalle ersetzt werden kann. Bekannte Vertreter von Säuren sind Salzsäure (Chlorwasserstoffsäure) HCl, Salpetersäure HNO_3, Schwefelsäure H_2SO_4, Kohlensäure H_2CO_3, Phosphorsäure H_3PO_4, Kieselsäure H_4SiO_4.[1]) Eine weitere wichtige Gruppe bilden die Basen. Diese haben laugenartigen Geschmack, färben Lackmus blau und sind Verbindungen eines Metalls mit Sauerstoff, bzw. im Wasser mit Sauerstoff und Wasserstoff. Vertreter von Basen sind gebrannter Kalk (Kalziumoxyd) CaO, Magnesia (Magnesiumoxyd) MgO, mit Wasser verbunden heißen sie Kalziumhydroxyd, $Ca(OH)_2$ und Magnesiumhydrat $Mg(OH)_2$. Bringt man Basen und Säuren zusammen, so tritt an die Stelle des Wasserstoffs oder eines Teils desselben das Metall der Base, und es bildet sich unter Freiwerden von Wasser ein Salz. Die Salze nennt man Chloride, Nitrate, Sulfate, Karbonate, Phosphate, Silikate, je nachdem sie durch Salzsäure, Salpetersäure, Schwefelsäure, Kohlensäure, Phosphorsäure, oder Kieselsäure gebildet werden. Man nennt Salze neutral, wenn der gesamte Säure-Wasserstoff durch Metall ersetzt ist, sauer, wenn dies nicht der Fall ist, basisch, wenn nicht das gesamte Hydroxyl (OH) aus der Base verdrängt ist.

Physikalische Gemische. Neben den Elementen und chemischen Verbindungen gehören nach S. 11 noch die physikalischen Gemische zu den homogenen Stoffen. In den physikalischen Gemischen sind die Elemente im Gegensatz zu den chemischen Verbindungen nicht mit ganz bestimmten Gewichtszahlen vertreten, sondern sie sind innerhalb gewisser Grenzen in beliebigen Gewichtsmengen darin vorhanden. Die physikalischen Gemische sind nämlich nicht aus einheitlichen Molekülen aufgebaut, wie die Verbindungen, sondern aus verschiedenartigen. Wenn sie trotzdem homogen erscheinen, so liegt dies eben daran, daß die einzelnen Moleküle der verschiedenen darin enthaltenen chemischen Verbindungen sich in ähnlicher Weise innig durchdringen wie die Elementaratome in den Molekülen der chemischen Verbindungen.

---

1) Die Kohlensäure H_2CO_3 ist in freiem Zustande nicht darzustellen, weil sie sehr leicht in Wasser und das Anhydrid Kohlendioxyd CO_2 zerfällt, welches in der Technik fast durchweg Kohlensäure genannt wird. Ebenso ist die Kieselsäure H_4SiO_4 in freiem Zustande nicht bekannt, sondern nur in ihren Salzen; auch hier wird das Anhydrid SiO_2 als Kieselsäure bezeichnet.

bestreben zum Sauerstoff hat als der, mit dem er verbunden ist. Ein solches Reduktionsmittel für das Eisenoxyd ist z. B. der Kohlenstoff und vor allem das aus ihm durch unvollkommene Verbrennung gebildete Gas CO. Dieses entreißt dem Eisenoxydul energisch den Sauerstoff unter Bildung von Kohlensäure nach der Formel:

$$FeO + CO = Fe + CO_2 .$$

Chemische Verwandtschaft (Affinität). Die Fähigkeit des Kohlenoxyds, dem Eisenoxyd den Sauerstoff zu entreißen, schreiben wir einer Kraft zu, die wir chemische Verwandtschaft oder Affinität nennen. Das Wesen jener Kraft ist uns unbekannt, wir kennen sie nur in ihren Wirkungen und wissen, daß die chemische Verwandtschaft zwischen den einzelnen Elementen außerordentlich verschieden ist. Es gibt Elemente, die sich mit stürmischer Heftigkeit vereinen (Explosionserscheinungen), andere wieder, die unter denselben Bedingungen jahrelang neben einander bestehen können, ohne auf einander zu reagieren. Auf Grund der mehr oder weniger großen chemischen Verwandtschaft der Elemente können wir chemische Vorgänge zwar herbeiführen, wenn wir die erforderlichen reaktionsfähigen Stoffe unter gewissen Bedingungen zusammenbringen, aber nach einer mehr oder weniger langen Zeit erreicht der Vorgang sein Ende und das System befindet sich dann „im chemischen Gleichgewicht", in dem keine Reaktion mehr stattfindet.

Chemisches Gleichgewicht, umkehrbare Gleichungen. Betrachten wir noch einmal zur Erläuterung des soeben Gesagten unsere Gleichung:

$$FeO + CO = Fe + CO_2$$

Hiernach könnte man also auf Grund der Affinität, die zwischen CO und O größer ist als zwischen Fe und O, durch Einwirkung von Kohlenoxyd auf Eisenoxyd metallisches Eisen und Kohlensäure erzeugen. Aber merkwürdiger Weise ist auch der umgekehrte Vorgang möglich, d. h. durch Einwirkung von Kohlensäure auf Eisen kann wieder das metallische Eisen in Eisenoxyd und Kohlenoxyd zurückverwandelt werden. Wir haben hier also eine umkehrbare Reaktion vor uns. Um in der obigen Gleichung zum Ausdruck zu bringen, daß die Reaktion sowohl in der einen als in der anderen Richtung verlaufen kann, setzen wir statt des Gleichheitszeichens zwei umgekehrte Pfeile und schreiben:

$$FeO + CO \rightleftarrows Fe + CO_2 .$$

Das Bestreben, sich in der einen oder anderen Richtung abzuwickeln, wird der Vorgang solange haben, bis endgültig Gleichgewicht eingetreten ist. Ist dieses erreicht, so erfolgt keine Reaktion mehr, jedoch befinden sich die beteiligten Stoffe nicht etwa im Ruhezustand, sondern es wird in der gleichen Zeit durch Kohlenoxyd immer ebensoviel Eisenoxyd zu Eisen reduziert wie umgekehrt durch die Kohlensäure Eisen zu Eisenoxyd oxydiert wird, was in der Wirkung allerdings dem scheinbaren Ruhestande gleichkommt.

Will man nun aus dem Eisenoxyd tatsächlich Eisen gewinnen, so muß man natürlich dafür sorgen, daß die Reaktion auch in diesem Sinne verläuft, d. h. daß in der obigen Gleichung der Vorgang sich als Reduktion des Eisenoxyds von links nach rechts abspielt, und daß nicht Gleichgewicht eintritt oder gar ein umgekehrter Verlauf der Reaktion von der rechten nach der linken Seite der Gleichung stattfindet. Zu diesem Zwecke muß man dafür sorgen, daß im Hochofen, in dem jene Eisengewinnung erfolgt, das richtige Mischungsverhältnis (die Konzentration) der beiden Gase CO und CO_2 bei den verschiedenen in diesem Ofen herrschenden Temperaturen vorhanden ist, und zwar muß stets mehr CO vorhanden sein, als der Erreichung des Gleichgewichtszustands entspricht. Dann verläuft der Vorgang in der Gleichung von links nach rechts, es findet immer eine Reduktion des Eisenoxyds statt. Zwar muß dann ein großer Teil des wertvollen Kohlenoxydgases unausgesetzt aus dem Hochofen entweichen, doch es läßt sich daran nichts ändern. Es bedeutet dies auch gegenwärtig keinen Verlust mehr, da man gelernt hat, das Gas außerhalb des Hochofens in äußerst vollkommener Weise auszunutzen.

Wärmeerzeugung. Um den obigen Reduktionsvorgang und und andere chemische Vorgänge im Eisenhüttenwesen zur Durchführung zu bringen, ferner zum Schmelzen von Eisen und Schlacken usw. bedürfen wir großer Wärmemengen. Wärme ist, wie wir aus dem Anfang dieses Kapitels wissen, eine Energieform, die durch Umwandlung anderer Formen der Energie erhalten werden kann. Wir können danach also auf verschiedenste Weise Wärme erzeugen. Im Eisenhüttenwesen kommen jedoch gegenwärtig hauptsächlich nur die in Wärme umgewandelte chemische Energie in Frage und dann in geringem Maße die elektrische Energie. Bleiben wir zunächst bei der ersteren. Jeder chemische Vorgang ist mit einer Energieänderung verbunden. Bei vielen Vorgängen, so z. B. bei den uns schon bekannten Verbrennungsvorgängen, bei denen die Vereinigung von Stoffen mit dem Sauerstoff der Luft stattfindet, äußern sich diese Energie-

änderungen teilweise im Freiwerden von Wärme, die wir dann nutzbar verwenden können. Die Größe der nutzbaren Verbrennungswärme wird in der Technik in Wärmeeinheiten (W.-E.) oder Kalorien (Kal.) gemessen, worunter wir diejenige Wärmemenge verstehen, die erforderlich ist, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° C zu erwärmen.

Als Brennstoffe benutzt man allgemein die von der Natur gelieferten organischen Stoffe, wie die Kohlen u. a. sowie die aus diesen hergestellten künstlichen Stoffe (wie Koks, Petroleum, Gase). Je größer die Zahl der Wärmeeinheiten ist, die 1 kg des Brennstoffes bei seiner Oxydation liefert, desto wertvoller ist er im allgemeinen. Die Heizwerte der einzelnen Brennstoffe sind im VI. Kapitel angegeben, es soll hier nur als Beispiel der Heizwert reiner deutscher Steinkohlen angeführt werden, der zwischen 7000 und 8600 W.-E. schwankt. Mit 1 kg brennender Steinkohle könnte man also bei vollkommener Wärmeausnutzung 7000 bis 8600 kg Wasser von 0° auf 1° C erwärmen.

Außer den genannten, allbekannten Brennstoffen gibt es im Eisenhüttenwesen noch einige andere Brennstoffe, die bei einzelnen Darstellungsverfahren des Eisens eine außerordentlich wichtige Rolle spielen, ja ohne die einer jener Eisenprozesse überhaupt undenkbar wäre. Diese Brennstoffe sind — es mag für den Uneingeweihten sonderbar klingen — vornehmlich die im technisch erzeugten Roheisen enthaltenen Elemente Silizium, Phosphor, Kohlenstoff und Mangan, die bei ihrer Verbrennung zu Oxyden Heizwerte von bzw. rund 7800, 5900, 2400 und 1700 W.-E. liefern.

Die zweite Quelle der Wärmeerzeugung im Eisenhüttenwesen, die Elektrizität, kommt naturgemäß wegen der verhältnismäßig hohen Kosten elektrischen Stroms im Vergleich zu den genannten Brennstoffen nur in selteneren Fällen zur Anwendung. Daß sich elektrischer Strom in Wärme umwandeln kann, das kann man z. B. an jeder elektrischen Glühlampe und vor allem an jeder elektrischen Bogenlampe wahrnehmen. Bei den Glühlampen wird die Wärme durch den Widerstand erzeugt, den ein Kohle- oder Metallfaden dem elektrischen Strome entgegensetzt. Würde man nun durch geeignete Vorkehrungen dafür sorgen, daß hier die Elektrizität in noch weitgehenderem Maße in Wärmeenergie umgewandelt wird, so würde sie das Metall zum Schmelzen bringen. Es liegt also nahe, auch zum Schmelzen von Eisen eine solche „direkte Widerstandserhitzung" anzuwenden, indem man einfach einen starken Strom durch diesen metallischen Stoff sendet. In der Praxis hat sich jedoch ein solches Schmelzver-

fahren aus verschiedenen Gründen, deren Erörterung hier zu weit führen würde, durchaus nicht bewährt. Auch die sogenannte „indirekte Widerstandsheizung" hat sich in die Eisenindustrie nicht einführen lassen. Bei dieser bildet nicht das Eisen den wesentlichen Erhitzungswiderstand, sondern ein anderer Stromleiter mit möglichst geringer Leitfähigkeit, von dem aus die erzeugte Widerstandswärme auf das schmelzende Eisen unmittelbar übertragen wird.

Weitgehende Anwendung in der Eisenindustrie dagegen haben die Öfen mit sogen. Induktionsheizung gefunden. Die Induktion äußert sich bekanntermaßen darin, daß in einem geschlossenen Elektrizitätsleiter (etwa einer isolierten Kupferdrahtspule) u. a. ein momentaner elektrischer Strom immer dann entsteht, wenn in einer anderen in der Nähe befindlichen Drahtspule ein darin fließender Strom Änderungen in seiner Intensität erfährt. Den letzteren (induzierenden) Strom bezeichnet man als primären Strom, den durch die Induktion hervorgerufenen als sekundären Strom. Schickt man nun durch die Primärspule einen Wechselstrom, d. h. einen elektrischen Strom, der in ständig ungeheuer schneller Abwechselung einmal in der einen, dann in der anderen Richtung durch eine Leitung läuft, also andauernd seine Intensität ändert, so entsteht auch in der ganz unabhängigen Sekundärleitung ein Wechselstrom. Benutzt man nun als Sekundärleitung das zu schmelzende Eisen, so entsteht auch in diesem durch Induktion ein Wechselstrom, und da er außerordentlich stark ist, das Eisen ihm aber verhältnismäßig viel Widerstand entgegensetzt, so entwickelt er eine große Wärmemenge und bringt das Eisen zum Schmelzen.

Eine andere Art der elektrischen Wärmeerzeugung, die große Bedeutung für das Eisenhüttenwesen erlangt hat, ist die Heizung mittels eines Lichtbogens, wie er ähnlich in den elektrischen Bogenlampen entsteht. Beim Lichtbogen zwischen zwei Kohlestäben (Elektroden) wird die Umwandlung von elektrischer in Wärmeenergie durch den großen Widerstand hervorgerufen, den die Luft zwischen den Elektroden und die von diesen ausgehenden Kohlenstoffdämpfe dem elektrischen Strom bieten. Im elektrischen Lichtbogen wird die höchste bisher überhaupt erreichbare Temperatur von etwa 3500° erzeugt.

Formarten (Aggregatzustände). Alle Stoffe können in fester, flüssiger und gasförmiger Formart vorkommen. Der Unterschied zwischen diesen drei Formarten beruht auf der verschiedenen Größe der Kohäsion, d. h. derjenigen Kraft, die die Moleküle eines Körpers zusammenhält. Bei den festen Körpern sind die Kohäsions-

kräfte zwischen den einzelnen Molekülen so groß, daß sie stets eine bestimmte Gestalt haben. Bei flüssigen Körpern dagegen wirkt die Kohäsion nur in so geringem Maße, daß jene keine bestimmte Gestalt mehr haben, sondern nur einen bestimmten Rauminhalt (eines Gefäßes) einnehmen. In gasförmigen Stoffen schließlich treten überhaupt keine Kohäsionskräfte zwischen den Molekülen auf. Im Eisenhüttenwesen spielt die Überführung von Stoffen von der festen in die flüssige Formart, das Schmelzen, eine große Rolle. Wir wollen uns daher mit diesem Vorgang hier kurz beschäftigen, allerdings nur soweit er reine Metalle betrifft.

Schmelzpunkt. Ein reines Metall geht, wie jeder aus gleichartigen Molekülen zusammengesetzte Stoff, stets nur bei einer einzigen, ganz bestimmten Temperatur von der festen in die flüssige Formart über. Diese Temperatur nennen wir den Schmelzpunkt oder, da umgekehrt bei derselben Temperatur das flüssige Metall sich verfestigt, den Erstarrungspunkt des betreffenden Metalls. Die Schmelzpunkte der Metalle liegen in außerordentlich weiten Grenzen. So liegt der Schmelz- und Erstarrungspunkt des Quecksilbers bei — 39° C, während der des Wolframs bei der sehr hohen Temperatur von etwa + 2800° liegt. Reines Eisenmetall schmilzt etwa bei 1505° C. Der Schmelz- und Erstarrungspunkt eines Metalles ist im allgemeinen ziemlich scharf charakterisiert. Läßt man nämlich das flüssige Metall gleichmäßig abkühlen, so sinkt in gleichen Zeiten seine Temperatur durch Wärmeabgabe ganz gleichmäßig bis zum Schmelzpunkt. Hier bleibt dann die Schmelztemperatur solange bestehen, bis alles Metall fest geworden ist, erst dann beginnt die Temperatur gleichmäßig weiter zu sinken. Bei der Erhitzung spielt sich in umgekehrter Weise derselbe Vorgang ab, d. h. die Temperatur steigt nach Erreichung des Schmelzpunktes erst dann weiter, wenn alles Metall geschmolzen ist. Die Wärmeenergie wird eben zur Durchführung der Schmelzarbeit verbraucht, und man spricht daher, da die von außen zugeführte Wärme während des Schmelzvorganges scheinbar verschwindet, von latenter (verborgener) Schmelzwärme.

Allotrope Zustände. Nicht nur durch Überführung von einer Formart in die andere ändert ein Element seine Eigenschaften; es kann auch in ein und derselben Formart verschiedene Eigenschaften aufweisen, ohne daß seine Moleküle eine andere Zusammensetzung erfahren. Diese Eigentümlichkeit der Elemente nennt man Allotropie. Am bekanntesten ist das Auftreten des festen Kohlenstoffs in den drei

allotropen Zuständen: Diamant, Graphit und amorpher Kohlenstoff. Ferner ist Allotropie noch sehr bekannt beim Phosphor (gelber und roter Phosphor), dann beim Schwefel (rhombische und monokline Schwefelkristalle) und beim Sauerstoff (Sauerstoff und Ozon). Die Umwandlung von einem allotropen Zustande in den anderen geht oft unter auffallenden Begleiterscheinungen vor sich, die sich meist in Volumänderung und Wärmeentwicklung äußern und auf eine Änderung des Energieinhalts zurückzuführen sind. Besonders charakteristisch sind solche Begleiterscheinungen bei der allotropen Umwandelung des Antimons, eines Elementes, das in den Buchdrucklettern enthalten ist. Stellt man solches Antimon auf elektrolytischem Wege her, so erhält man es als dunkelgefärbtes glänzendes Metall. Dieses braucht nur mit einem spitzen Gegenstande, etwa einem Taschenmesser, berührt zu werden, so wandelt es sich schon unter heftiger Wärmeentwicklung in gewöhnliches Antimon um.

Auch das Eisenmetall tritt in fester Formart in allotropen Modifikationen auf. Von diesen sind uns drei bekannt; wir bezeichnen sie als Alpha-, Beta- und Gamma-Eisen (α-, β-, γ-Eisen).

γ-Eisen erhält man zunächst bei der Erstarrung des Metalls aus flüssiger Formart. Läßt man das γ-Eisen weiter abkühlen, so verwandelt es sich bei etwa 910^0 unter Freiwerden von Wärme in β-Eisen, und dieses geht bei 780^0 ebenfalls unter Wärmeentwicklung in α-Eisen über. Da bei diesen beiden Temperaturpunkten die sonst gleichmäßig fortschreitende Abkühlung durch die freiwerdende Wärme eine kurze Zeit lang aufgehalten wird, bezeichnet man dieselben als Haltepunkte. Man beobachtet solche Haltepunkte natürlich auch umgekehrt beim Erhitzen. Hier wird zur Umwandelung derselbe Wärmebetrag verbraucht, der beim Abkühlen frei wurde, so daß die Temperatursteigerung trotz weiterer äußerer Wärmezuführung ähnlich wie beim Schmelzvorgang kurze Zeit aussetzt.

Läßt man nun dem γ- bzw. β-Eisen keine Zeit, sich langsam abzukühlen, also sich allmählich in das bei gewöhnlicher Temperatur beständige α-Eisen zu verwandeln, sondern schreckt man dasselbe plötzlich ab, etwa durch Eintauchen in kaltes Wasser, so erhält man das γ- bzw. β-Eisen auch bei gewöhnlicher Temperatur. Prüfen wir die drei Eisenmodifikationen, so finden wir deutliche Unterschiede in ihren Eigenschaften. α-Eisen ist magnetisch, β- und γ-Eisen sind es nicht. α-Eisen ist weich, β-Eisen hart und γ-Eisen mittelhart. Dem α-Eisen ist geringe Festigkeit, aber große Zähigkeit eigen, dem β- und γ-Eisen dagegen größere Festigkeit und geringere Zähigkeit.

III. Kapitel.

Die Eigenschaften der Legierungen, insbesondere der Eisen-Kohlenstofflegierungen.

Die Begriffe Legierung und technisch verwertetes Eisen. Legierungen nennt man nach den Erklärungen auf Seite 16 alle diejenigen Stoffe, die im geschmolzenen Zustande (homogene) Lösungen von metallischen und nichtmetallischen Stoffen in Metallen bilden. Geschmolzene Legierungen bleiben, wenn sie durch Abgabe von Wärme erstarren und sich weiter bis zu gewöhnlichen Temperaturen abkühlen, entweder homogene Stoffe, gehen also einfach in kristalline feste Lösungen (Mischkristalle) über, oder aber sie verwandeln sich während der Erstarrung und Abkühlung in vollständig inhomogene Stoffe, die aus einem kristallinen Gemenge verschiedener homogener Stoffe bestehen. Für beide Erstarrungserzeugnisse der flüssigen Legierungen, also sowohl für die gleichartigen Mischkristalle, als für die ungleichartigen kristallinen Gemenge hat man den Namen Legierung beibehalten.

Den zweiten Weg, also bei der Erstarrung und Abkühlung sich in einen ungleichartigen Stoff zu verwandeln, schlägt auch das technisch verwertete Eisen ein. Während es im geschmolzenen Zustande eine Lösung von verschiedenen Stoffen im Eisenmetall bildet, besteht es im erkalteten festen Zustande aus einem kristallinen Gemenge von homogenen Einzelbestandteilen, nämlich Elementen, Verbindungen und festen Lösungen, an deren Aufbau natürlich das Eisenmetall den Hauptanteil hat.

Zweck des Legierens. Wesen der Legierungen. Durch das Legieren beabsichtigt man die Eigenschaften von Metallen ihrem jeweiligen Verwendungszweck entsprechend zu verändern. So kann man durch Auflösen bestimmter Mengen eines Stoffes in einem Metall die Härte und Festigkeit desselben steigern, seine Schmelztemperatur erniedrigen, es schmiedbar machen, ihm eine bestimmte Farbentönung geben und dergl. Auch das Eisen erhält erst seine für die meisten Verwendungszwecke wertvollen Eigenschaften dadurch, daß es mit anderen Stoffen legiert wird. Das reine Metall Eisen wäre abgesehen davon, daß es sich sehr schwierig darstellen läßt, kaum

verwendbar, weil es außer seiner Zähigkeit keine brauchbaren Eigenschaften aufweist.

Es ist durchaus nicht nötig, daß man zur Steigerung der Härte und Festigkeit eines Metalls dieses mit einem sehr harten und festen Stoff legieren müßte; im Gegenteil, die Festigkeit und Härte des zugesetzten Stoffes kann noch viel geringer sein als die des Metalls; trotzdem werden die Festigkeits-Eigenschaften der entstandenen Legierung unter Umständen ganz bedeutend über die des Metalls hinaus verbessert. In ähnlicher Weise kann auch die Schmelztemperatur eines Metalls stark erniedrigt werden, selbst wenn der hinzugekommene Stoff bedeutend schwerer schmelzbar ist als das Metall.

Lösungsfähigkeit. Die Fähigkeit zweier Stoffe, sich gegenseitig zu lösen, ist in ausgeprägtem Maße von ihrem Aggregatzustande abhängig. Im gasförmigen Zustande lösen sich alle Stoffe in beliebigen Mengenverhältnissen, nicht aber im flüssigen Zustande, in dem ein Metall sich meist befindet, wenn es sich mit einem anderen Stoffe legiert. Man muß hier vielmehr zwischen vollständiger und unvollständiger Löslichkeit unterscheiden. Im geschmolzenen Zustande vollständig ineinander löslich sind, ähnlich wie Wasser und Alkohol, z. B. Gold und Silber. Beschränkte Löslichkeit ineinander dagegen haben, ähnlich wie Wasser und Äther, z. B. Blei und Zinn. Was das Eisen anbelangt, so löst es im flüssigen Zustande in beliebiger Menge z. B. Schwefel, Phosphor, Silizium, Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel u. a.; im beschränkten Maße dagegen löst es Kohlenstoff, Kupfer und Zink, so gut wie gar nicht Blei, Silber und Quecksilber. Im festen Zustande nimmt die Fähigkeit der Stoffe, sich ineinander zu lösen, meist noch mehr ab. Das Eisenmetall scheidet daher z. B. bei der Erstarrung und Abkühlung von seinen im flüssigen Zustande gelösten Bestandteilen wieder eine gewisse Menge ab.

Die Kristallisation der Legierungen. In ähnlicher Weise wie eine wässrige Kochsalzlösung bei zunehmender Abkühlung je nach der Menge des aufgelösten Salzes Eis- oder Kochsalzkristalle abscheidet und dann schließlich vollständig zu einem Gemenge von Eis- und Salzkristallen erstarrt, gehen auch die Kristallisationsvorgänge der Legierungen bei der Erstarrung aus der flüssigen Schmelze und weiterer Abkühlung vor sich. Während aber die Erstarrungsvorgänge von wässrigen Lösungen sich im allgemeinen bei Temperaturen unter 100° C abspielen, finden diejenigen der Legierungen oft bei Temperaturen weit über 1000° C statt. Es ist daher nicht möglich, die bekannten Untersuchungsmethoden der ersteren auf die analogen

Vorgänge bei den letzteren zu übertragen. Eine Kenntnis der Kristallisationsvorgänge der Legierungen ist aber von großer Bedeutung, denn die Eigenschaften der Legierungen sind nicht nur von ihrer chemischen Zusammensetzung, sondern auch von ihrem „Kleingefüge“ abhängig, welches durch die ausgeschiedenen einzelnen kleinen Kristalle gebildet und durch die Erstarrungsvorgänge in weitgehendem Maße beeinflußt wird. Man hat sich daher in der Metallographie — das ist die Lehre von den Metallen und ihren Legierungen — nach anderen Untersuchungsmethoden, die die Kristallisationsvorgänge der Legierungen verständlich machen, umsehen müssen. Eine von diesen Methoden ist die thermische Analyse.

Die thermische Analyse. Auf den Seiten 22 u. 23 war gelehrt worden, daß bei dem Übergange eines Metalls von der flüssigen in die feste Formart und von einem allotropen Zustand in den anderen Änderungen seines Wärmeinhalts stattfinden, die bei den betreffenden Temperaturen eine Verzögerung in der gleichmäßigen Abkühlung hervorrufen (Haltepunkte). Solche Änderungen des Wärmeinhalts kann man auch bei den Legierungen wahrnehmen. Sie äußern sich nicht nur beim Erstarrungsvorgang und bei allotropen Umwandlungen, sondern auch noch bei anderen Vorgängen, z. B. bei der Bildung von chemischen Verbindungen durch zwei Elemente der Legierung oder beim Zerfall einer in der Legierung aufgelösten Verbindung oder bei dem Auskristallisieren eines Stoffs aus einer festen Lösung und dgl. Die systematische Erforschung aller dieser Folgeerscheinungen bei den Erstarrungs- und Abkühlungsvorgängen der Legierungen (sowie aller anderen aus flüssiger Lösung erstarrenden Stoffe) bezeichnet man als thermische Analyse. Durch die thermische Analyse sind bisher hauptsächlich die binären Legierungen untersucht worden, d. h. diejenigen, die aus zwei Stoffen bestehen. Von den binären Legierungen interessieren uns am meisten die Eisen-Kohlenstofflegierungen. Denn der Kohlenstoff ist der wichtigste Begleiter des technisch erzeugten Eisens. Kein zweites Element übt so vielseitige tiefgreifende Einflüsse auf das Verhalten des Eisens aus wie der Kohlenstoff der auch sonst in Natur und Technik eine so bedeutende Rolle spielt.

Die Eisen-Kohlenstofflegierungen. Es würde über den Rahmen des Buches hinausgehen, hier eingehender die Eisen-Kohlenstofflegierungen zu besprechen. Es sollen vielmehr nur die wichtigsten Erscheinungen bei den Kristallisationsvorgängen jener Legierungen erörtert und die bekanntesten Gefügebestandteile derselben aufgezählt werden. Die Eisen-Kohlenstofflegierungen haben mit zahlreichen anderen

Legierungen die Eigentümlichkeit gemeinsam, nicht wie z. B. die Metalle bei einer einzigen Temperatur zu erstarren, (vgl. Seite 22) sondern in einem ganzen Temperaturintervall. So beginnt die Erstarrung einer geschmolzenen Eisen-Kohlenstofflegierung mit 1,76% C schon dicht unterhalb 1400°, während sie erst bei 1130° endgültig beendigt ist. In Ermangelung einer einzigen bestimmten Schmelztemperatur bezeichnet man daher als Erstarrungs- und Schmelzpunkt solcher Legierungen diejenige Temperatur, bei der die Erstarrung beginnt bzw. die Schmelzung beendigt ist. Wie allgemein ein Zusatz zu einem Metall den Schmelzpunkt desselben in tiefere Temperaturen herunterdrückt, so erniedrigt auch ein Kohlenstoffgehalt im Eisenmetall den Schmelzpunkt des letzteren. Während reines Eisen bei 1505° schmilzt, liegt der Schmelzpunkt eines Eisens mit 4,2% C bei 1130°, bei noch höherem Gehalt an Kohlenstoff rückt der Schmelzpunkt jedoch wieder auf höhere Temperaturgrade hinauf.

Mehr als 4,2% Kohlenstoff vermag das Eisen im flüssigen Zustande nicht aufzulösen, jedenfalls nicht dicht oberhalb des Erstarrungspunkts. War ein darüber hinaus gehender Kohlenstoffgehalt bei höheren Temperaturgraden in der Schmelze enthalten, so wird ein Teil desselben bei Beginn der Erstarrung in Form von blättrigen Graphitkristallen ausgeschieden. Diese steigen wegen ihres geringen spezifischen Gewichts an die Oberfläche des Eisenbades und schwimmen dort als sogen. Garschaum umher. Der Kohlenstoff ist übrigens nicht als freies Element im flüssigen Eisen enthalten, sondern als Verbindung mit dem Eisen, die den Namen Eisenkarbid Fe_3C hat. Der als Garschaum ausgeschiedene Graphit ist also ein Zerfallsprodukt des Eisenkarbids.

Nicht nur bei den Eisen-Kohlenstofflegierungen mit mehr als 4,2% Kohlenstoff, sondern auch bei denen unter 4,2% C bis herab zu etwa 2% C kann ein Teil des Eisenkarbids bei der Abkühlung in Eisen und Kohlenstoff zerfallen. Aber bei diesen Legierungen findet der Zerfall erst bei Temperaturen nahe 1130° statt, also wenn die ganze Eisenlegierung bereits ihre Erstarruug beendigt hat. Dann ist die Hauptmenge des Graphits naturgemäß ziemlich regelmäßig verteilt in der Legierung zu finden. Die Bruchfläche von solchen Eisen-Kohlenstofflegierungen mit 2 bis 4,2% C, welche wir hier Roheisenlegierungen nennen wollen, erscheint dann durch den ausgeschiedenen Graphit grau, sie werden daher als graues Roheisen bezeichnet, wenn noch andere Elemente in ihnen enthalten sind.

Der Eisenkarbidzerfall und die damit verbundene Graphitablagerung finden jedoch nur dann statt, wenn das Eisen sich sehr langsam abkühlt, oder wenn noch ein Siliziumgehalt von 1—2% in den betreffenden Legierungen vorhanden ist. Dagegen wird die Graphitabscheidung, die wie jede molekulare Umänderung in einem Stoff eine gewisse Zeit beansprucht, stets unterbunden, wenn die Abkühlung sehr schnell erfolgt, oder wenn statt des Siliziums ein höherer Mangangehalt vorhanden ist, der die Lösungsfähigkeit des Eisens für Kohlenstoff erhöht. In diesen beiden Fällen bleibt dann der Kohlenstoff in dem Eisen als Karbid gelöst bzw. das ausgeschiedene Karbid zerfällt nicht in Graphit und Eisen und die Bruchfläche desselben erscheint daher weiß (weißes Roheisen). Ein weißes Roheisen, dessen Graphitabscheidung nur durch schnelle Abkühlung unterbunden war, kann man durch nachträgliche Erhitzung noch zur Kohlenstoffabscheidung zwingen. Aber dann zerfällt das Eisenkarbid nicht in Eisen und Graphit, sondern in Eisen und sog. Temperkohle, eine besondere, wahrscheinlich amorphe Abart des Kohlenstoffs.

Die Eisen-Kohlenstofflegierungen mit weniger als etwa 2% C (schmiedbare Eisen-Kohlenstofflegierungen) behalten im Gegensatz zu den anderen sowohl bei langsamer als schneller Abkühlung und auch bei Vorhandensein von Fremdstoffen den gesamten Kohlenstoff auch nach der Erstarrung zunächst noch gelöst. Bei weiterer Abkühlung jedoch beginnen aus der festen Lösung von Eisenkarbid in Eisen genau wie bei einer flüssigen Lösung sich Kristalle auszuscheiden. Diese bestehen bei den Legierungen von 0 bis etwa 1% C aus reinem Eisen und bei denen über 1% aus Eisenkarbid. Schließlich zerfällt bei etwa 700° auch der letzte Rest der festen Lösung in ein inniges Gemenge von Eisen und Eisenkarbid, sodaß also alle Eisen-Kohlenstofflegierungen mit 0—1% C aus diesem Gemenge mit eingelagerten Eisenkristallen bestehen, diejenigen von 1—2% aus demselben Gemenge mit eingelagerten Eisenkarbidkristallen. Was die Eisenkristalle anbelangt, so erinnere man sich der auf Seite 23 besprochenen allotropen Umwandlungen des Eisens. Danach müssen die Eisenkristalle bei langsamer Abkühlung und bei gewöhnlichen Temperaturen aus α-Eisen bestehen.

Ebenso wie man bei den Roheisenlegierungen durch schnelle Abkühlung die Ausscheidung von Eisenkarbid bzw. den Zerfall desselben

in Eisen und Graphit unterbinden kann, gelingt es auch bei den schmiedbaren Eisen-Kohlenstofflegierungen, durch schnelle Abkühlung (Abschrecken) den größten Teil des Eisenkarbids im Eisen gelöst zu erhalten. Dies hat einen großen praktischen Wert, wie wir weiter unten noch erfahren werden.

Die mikrographische Untersuchung der Legierungen. Neben der thermischen Analyse, durch die wir die Entwicklung des Kleingefüges einer Legierung von der flüssigen Schmelze an bis zu den erkalteten Stoffen verfolgen, gibt es noch eine zweite ebenso wichtige Untersuchungsmethode, die uns Aufklärung über den Gefügeaufbau gibt und die einzelnen Gefügebestandteile erkennen läßt. Es ist dies die sog. mikrographische Untersuchungsmethode. Diese beruht auf der verschiedenen Widerstandsfähigkeit der einzelnen Gefügebestandteile der abgekühlten Legierung gegen chemische Reagenzien. Man schleift ein Stück der Legierung an, poliert die geschliffene Fläche auf Spiegelglanz und ätzt sie dann, d. h. man behandelt sie mit einem Stoffe, durch den die einzelnen Gefügebestandteile in verschiedenem Grade angegriffen werden. Je geringer das Ätzmittel auf einen Gefügebestandteil wirkt, in desto höherem Maße behält er seinen Politurglanz bei, wirft also das auf ihn fallende Licht desto besser zurück. Betrachtet man eine solche geätzte beleuchtete Fläche unter dem Mikroskop, so kann man die einzelnen Gefügebestandteile deutlich unterscheiden. Durch photographische Aufnahme kann man das mikroskopische Bild festhalten.

Die wichtigsten Gefügebestandteile der Eisen-Kohlenstofflegierungen. Die Theorie des Stahlhärtens. Die Eisen-Kohlenstofflegierungen bauen sich aus einer ganzen Reihe von Gefügebestandteilen auf, die wir durch die mikrographische Untersuchung feststellen können. Einige von diesen waren bereits vorhin (S. 27) erwähnt worden, wir wollen sie hier näher besprechen. Die reinen Eisenkristalle nennt man metallographisch Ferrit. Der Ferrit ist einer der weichsten Gefügebestandteile des Eisens. Zu den härtesten dagegen zählt das Eisenkarbid (Fe_3C), welches Zementit (auch Karbidkohle) genannt wird. Das erwähnte, unterhalb 700° entstehende innige Gemenge von Eisen- und Eisenkarbidkristallen, also von Ferrit und Zementit, nennt man Perlit. Danach bestehen also alle langsam erstarrenden schmiedbaren Eisen-Kohlenstofflegierungen mit 0 bis 1 % C aus Perlit mit eingelagertem Ferrit und diejenigen mit 1 bis 2 % C aus Perlit mit eingelagertem Zementit.

Schreckt man nun diese schmiedbaren Eisen-Kohlenstofflegierungen

mit weniger als 2 % C aus höheren Temperaturen ab (vgl. vorige Seite), so wird der festen Lösung von Eisenkarbid in γ-Eisen nicht die erforderliche Zeit zur Abscheidung von Eisenkarbid bzw. Ferrit und zur Verwandlung in Perlit gelassen; man erhält vielmehr eine Legierung mit einem Gefüge, das aus zahlreichen kleinen sich kreuzenden Nadeln besteht und Martensit[1]) genannt wird. Der Martensit ist nahezu eine feste Lösung von Eisenkarbid in γ-Eisen, die aber schon einen geringen Zerfall erfahren hat. Eine ganz homogene feste Lösung von Eisenkarbid in γ-Eisen kann man jedoch erhalten, wenn man aus sehr hohen Temperaturen abschreckt. Das auf diese Weise entstandene Gefüge wird Austenit genannt. Der Martensit zeichnet sich durch eine bedeutende Härte aus, der Austenit ist nicht ganz so hart.

Auf der Bildung des Martensits (bzw. Austenits) durch plötzliches Abschrecken beruht jenes für die Verwendbarkeit des Eisens so bedeutungsvolle Verfahren des Stahlhärtens. Obwohl das Härten des Stahls schon seit Jahrtausenden ausgeübt wird, wie wir aus der Geschichte des Eisens (Kapitel I) wissen, ist es doch erst in den letzten Jahren gelungen, einer einwandsfreien wissenschaftlichen Lösung der Frage näher zu kommen. Eine endgültig von allen Forschern anerkannte Härtungstheorie ist jedoch auch unserer Zeit noch nicht beschieden worden. Einige Forscher sind der Ansicht, daß der Härtungsvorgang lediglich von der festen Lösung Eisenkarbid in γ-Eisen abhänge, die daher auch den Namen Härtungskohle erhalten hat; andere schreiben die Härtung neben dem Einfluß der Härtungskohle auch noch dem Auftreten von β-Eisen zu, das ja, wie wir nach der Erklärung auf Seite 23 wissen, härter als γ-Eisen ist.

IV. Kapitel.

Die Eigenschaften des technisch verwerteten Eisens.

Man kennt auf der ganzen Erde keinen Stoff, der so zahlreiche wertvolle Eigenschaften hat und deshalb eine so vielseitige Verwendung findet wie das Eisen. Das Eisen erfüllt als zierliche Uhrfeder seine Aufgabe mit derselben Zuverlässigkeit, mit der es als mächtiges Schwungrad einer großen Dampfmaschine am Tage viele hundert-

1) Viele Gefügebestandteile der Eisen-Kohlenstofflegierungen sind nach Forschern benannt worden, die sich um die Metallographie des Eisens verdient gemacht haben.

tausend Umdrehungen macht. Zum feinen Blumendraht ist es ebenso gut verwendbar wie zum starken Förderseil, das gleichzeitig ein paar tausend Kilogramm mineralischer Schätze aus den Tiefen der Erde im düstern Schachte emporzieht. Das Eisen leistet ebenso getreue Dienste als kleine Nähnadel, die nur ein zartes Seidengewand durchstechen soll, wie als harter Werkzeugstahl, der den Lauf des stählernen 15 m langen Seelenrohrs eines neuzeitlichen Riesengeschützes bohren soll. Das Eisen erheischt Bewunderung einerseits als kunstvoll gearbeiteter Aschenbecher, der beim Niederfallen in Scherben bricht, andererseits als plumper mächtiger Amboßblock, der geduldig die wuchtigen Schläge eines 150000 kg schweren Dampfhammers auf sich herniedersausen läßt. Das Eisen kann als Glocke in harmonischen Tönen ein Häuflein Andächtiger zur Kirche rufen und als platzende Granate in wenigen Sekunden eine Schar tapferer Krieger vernichten. Nur auf Eisen kann der Mensch am Tage eine Wegstrecke von vielen hundert Kilometern zurücklegen, nur mit Eisen kann er sich die zahllosen Gebrauchsgegenstände so billig und so schnell herstellen, wie es unsere jetzigen Maschinen vermögen, nur mit Eisen kann er in so vollkommener Weise die tiefsten Schluchten überspannen, die breitesten Ströme überbrücken, die Meere durchkreuzen.

Unzählige Beispiele ließen sich noch dafür anführen, in welch mannigfaltiger Weise das Eisen außerdem verwendet werden kann. Daß es sich zu so vielen Verwendungszwecken eignet, verdankt es in erster Linie immer wieder seinen Eigenschaften. Im vorliegenden Kapitel sind nun die wichtigsten Eigenschaften des Eisens genannt unter gleichzeitiger Aufzählung der hauptsächlichsten Faktoren, durch die sie beeinflußt werden.

Die Eigenschaften des Eisens können wir in zwei Gruppen zusammenfassen, die Arbeits- und die Gewerbseigenschaften. Mit ersteren wollen wir alle diejenigen Eigenschaften bezeichnen, die für die Formgebung bzw. mechanische Veredelung des Eisens von Wichtigkeit sind, d. h. für das Gießen, Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen, Schweißen und andere Arbeitsverfahren; es sind hauptsächlich Schmelzbarkeit, Dünnflüssigkeit, Schwindung, Saigerung, Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit. Als Gewerbseigenschaften dagegen sollen diejenigen bezeichnet werden, von denen die Brauchbarkeit des fertigen Gegenstandes für einen bestimmten Verwendungszweck abhängt; es sind Festigkeit, Zähigkeit, Härte, Leitfähigkeit für Elektrizität, Magnetisierbarkeit u. a. m.

Die Eigenschaften des technischen Eisens sind von verschiedenen

Faktoren abhängig. In erster Linie werden sie durch die Natur der mit dem Eisenmetall legierten Elemente und deren Mengenverhältnisse beeinflußt, ferner durch die Geschwindigkeit der Erstarrung und Abkühlung, schließlich durch mechanische Bearbeitung und thermische Behandlung. Die wichtigsten Elemente, die sich fast in jedem technisch erzeugten Eisen vorfinden, sind neben dem Kohlenstoff Silizium, Mangan, Phosphor, Schwefel. Sie gelangen meist bei der Darstellung in das Eisen. Absichtlich legiert man mit dem Eisen zur Erzielung gewisser Eigenschaften vor allem Nickel, Wolfram, Chrom, Vanadium, Molybdän.

Die technologischen oder Arbeitseigenschaften des Eisens.

Man kann das Eisen auf zweierlei Art in die gewünschte Gestalt bringen, entweder durch Gießen der flüssigen Legierung in Formen oder durch Walzen und sonstige Verfahren mechanischer Bearbeitung. Gießen läßt sich sowohl Roheisen als auch schmiedbares Eisen, mechanisch bearbeiten durch Walzen usw. läßt sich nur schmiedbares Eisen. Für das Gießen sind vor allem von Wichtigkeit die Schmelzbarkeit, Dünnflüssigkeit, Schwindung und Saigerung, für die mechanische Bearbeitung haben Schmiedbarkeit und Schweißbarkeit die größte Bedeutung.

Schmelzbarkeit. Als gut schmelzbar bezeichnet man für gewöhnlich denjenigen Stoff, der sich bei möglichst niedriger Temperatur schmelzen läßt. Man kann jedoch auch als gut schmelzbar einen Stoff betrachten, der mit möglichst geringem Aufwand von Wärme geschmolzen werden kann. Beide Faktoren brauchen durchaus nicht in demselben Verhältnis zu steigen. Die Schmelztemperatur von Blei und Zinn liegt z. B. bei 330 bzw. 230^0. Die zum Schmelzen des Bleies gehörige Wärmemenge beträgt aber nur 14 W.-E., die Schmelzwärme des Zinns dagegen 26 W.-E. Letzteres Metall braucht also fast die doppelte Schmelzwärme, obwohl seine Schmelztemperatur um 100^0 niedriger liegt. Ein Gußeisen, das bei 1200^0 schmilzt, braucht zum Schmelzen eine Wärmemenge von 243 W.-E., ein Stahl, der bei 1350^0 schmilzt, eine solche von 300 W.-E. Je leichter schmelzbar ein Stoff ist, sei es inbezug auf Temperatur oder auf Wärmemenge, desto vorteilhafter ist dies natürlich, denn hohe Schmelztemperaturen erfordern hochwertige Brennstoffe, bestimmte Ofenkonstruktionen und feuerfeste Ofenbaustoffe, große Schmelzwärmemengen aber erfordern viel Brennstoff. Außerdem müssen die Gußformen

.us desto widerstandsfähigerem Material hergestellt sein, je höher ie Temperatur des hineingegossenen Eisens ist. Die Schmelzbarkeit es Eisens wird durch einen gewissen Gehalt an einzelnen Elementen neist günstig beeinflußt. Wie Kohlenstoff darauf einwirkt, ist bereits m III. Kapitel erörtert worden. Ein steigender Kohlenstoffgehalt bis ,2 % erniedrigt danach den Schmelzpunkt; während er bei reinem Eisen bei 1505° liegt, ist er bei Eisen mit 4,2 % C bereits auf 130° heruntergedrückt worden. In ähnlicher Weise wirken auch die ibrigen Elemente.

Dünnflüssigkeit. Je dünnflüssiger ein Metall oder eine Legie- ung ist, desto schärfere Abgüsse liefert sie. Dünnflüssiges Eisen wird aher vornehmlich zum Gießen von Kunstgegenständen, bei denen s auf die Ausbildung feinster Konturen ankommt, verwendet. Dünn- lüssigkeit erreicht man einerseits durch Überhitzung, d. h. durch be- eutende Steigerung der Temperatur über den Schmelzpunkt der Le- ierung hinaus, andererseits durch Hinzufügen verschiedener Elemente. Vor allem wirken in dieser Hinsicht auf das Eisen Phosphor, nächstdem Silizium und Kohlenstoff. Ein Roheisen mit 1,5 % Phosphor ist sehr ünnflüssig, auch Roheisen mit hohem Kohlenstoffgehalt ist bei weitem ünnflüssiger als schmiedbares Eisen. Graues siliziumhaltiges Roh- isen ist dünnflüssiger als weißes Roheisen. Den Gehalt an diesen Ele- nenten kann man natürlich nur dann erhöhen, wenn sie nicht andere on dem betreffenden Eisenstück verlangte Eigenschaften nachteilig eeinflussen. Außerordentlich nachteilig auf die Dünnflüssigkeit wirkt er Schwefel ein.

Schwindung. Ähnlich wie gefrierendes Wasser dehnt sich auch rstarrendes Eisen während und unmittelbar nach der Erstarrung us. Bei weiterer Abkühlung aber beginnt es, wie die meisten übri- en Stoffe, sich wieder zusammenzuziehen und zwar stärker als es ich bei der Erstarrung ausgedehnt hatte. Diesen Vorgang nennt man Schwindung. Die Schwindung spielt im Gießereiwesen eine beson- ers große Rolle. Sie ist die Ursache dafür, daß die Abmessungen ines aus Eisen gegossenen erkalteten Gegenstandes geringer sind als iejenigen der Form, deren Hohlraum die flüssige Schmelze zuerst ollständig ausfüllte. Man muß aus diesem Grunde den Formen m soviel größere Abmessungen geben, als die Schwindung beträgt, amit der Abguß die gewünschten Maße erhält. Die Ziffer, welche ngibt, um wieviel der ursprünglichen Abmessungen der flüssigen Schmelze das Eisen bei der Abkühlung zusammenschrumpft, nennt nan das lineare oder Längenschwindmaß (im Gegensatz zum

räumlichen Schwindmaß). Die Schwindmaße sind bei den einzelnen Eisensorten verschieden. Bei grauem Gußeisen rechnet man in der Praxis mit Schwindmaßen zwischen 0,5 und 1 %, bei Stahl sind sie fast doppelt so groß. Am günstigsten beeinflußt die Graphitbildung die Schwindung. Je höher der Graphitgehalt, desto geringer die Schwindung. Daher bewirken alle beim Gußeisen die Graphitabscheidung begünstigenden Umstände, wie hoher Silizium- und geringer Mangangehalt sowie langsame Abkühlung, eine Verringerung der Schwindung. Der Gießereifachmann muß darauf bedacht sein, entweder die Schwindung möglichst zu verhindern oder, wenn dies nicht durchführbar ist, dafür zu sorgen, daß sie gleichmäßig erfolgt, denn zu starke bzw. zu ungleichmäßige Schwindung hat außerordentlich nachteilige Erscheinungen im Gefolge. Zunächst bewirkt sie Spannungen im Gußstück, die schon während des Gießens oder nachher beim Gebrauch des Stücks zu dessen Zerreißung führen können. Ein zweiter Nachteil des Schwindens ist die Bildung von Hohlräumen im Eisen, die sogen. Lunkerbildung. Ist das flüssige Eisen in die Form eingegossen, so erstarrt es natürlich an den Stellen zuerst, an denen es mit den kalten Wandungen der Formen in Berührung kommt. Es bildet sich eine äußere feste Rinde, die die flüssige Schmelze einschließt. Bei fortschreitender Abkühlung kann diese flüssige Schmelze wegen ihrer Eigenschaft zu schwinden nicht mehr den ganzen Raum, den sie vorher innerhalb der erstarrten Rinde einnahm, ausfüllen und wird daher luftleere Hohlräume (Lunker) zurücklassen. Daß solche Lunker, die meist dem Auge verborgen bleiben, keine günstigen Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens ausüben, läßt sich leicht denken.

Saigerung. Unter Saigerung versteht man eine während der Erstarrung einer flüssigen Legierung auftretende Entmischung ihrer gleichmäßigen chemischen Zusammensetzung. So hat z. B. ein aus Flußeisen gegossener größerer Block im unteren Teile oft eine andere chemische Zusammensetzung als im oberen und in der Mitte eine andere als am Rande. Die Saigerungserscheinungen haben verschiedene Ursachen. Oft beruhen sie darauf, daß sich bei der Erstarrung der Legierung zuerst Kristalle abscheiden, die ein geringeres spezifisches Gewicht als die flüssige Schmelze haben, daher in derselben emporsteigen und sich im oberen Teile in größerer Menge ansammeln. Die Saigerung wird stark beeinflußt durch die Geschwindigkeit der Abkühlung. Je schneller die Abkühlung vor sich geht, in desto geringerem Maße treten die Saigerungserscheinungen auf. Bei dicken

Eisengußstücken sind daher in der Mitte, wo die Abkühlung langsamer vor sich geht, bedeutend auffälligere Saigerungserscheinungen zu beobachten, als an deren schnell erkalteten Rändern. An der Saigerung nehmen vor allem teil: Schwefel, Phosphor, Kohlenstoff und Mangan. Starke Saigerung kann unter Umständen sehr nachteilige Einflüsse auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens haben.

Schmiedbarkeit. Die wertvollste Arbeitseigenschaft des Eisens ist seine Schmiedbarkeit, d. h. die Fähigkeit, im erhitzten Zustande Formveränderungen zu ertragen. Von jener Fähigkeit des Eisens macht der Hüttenmann besonders beim Schmieden, Pressen und Walzen Gebrauch. Am besten schmiedbar ist das Eisen bei Kohlenstoffgehalten unter 1,5 % und bei Temperaturen von 900—1000° (Hellrotglut). Ein schmiedbares Eisen befindet sich bei diesen Temperaturen in teigigem Zustande. Eisen mit mehr als 1,5 % C läßt sich bereits schwer schmieden, Roheisen mit etwa 2 % C und darüber ist überhaupt nicht schmiedbar, schon allein dadurch, daß es nach beendigter Erstarrung überhaupt keinen teigigen Zustand mehr durchmacht, sondern sogleich vollkommen fest wird. Eine Bearbeitung bei geringeren Temperaturen als Hellrotglut bewirkt zwar eine Steigerung der Festigkeit des Eisens, aber nur auf Kosten seiner Zähigkeit. Am gefährlichsten ist die mechanische Bearbeitung in der sog. Blauwärme, d. h. bei Temperaturen zwischen 250 und 350°. Hierbei wird das Eisen bei außerordentlicher Zunahme an Festigkeit so spröde, daß es leicht noch während der Bearbeitung bricht (Blaubruch). Einen ähnlichen Einfluß wie der Kohlenstoff übt das Silizium auf die Schmiedbarkeit aus. Ein nicht zu hoher Mangangehalt wirkt günstig, weil das Mangan den ärgsten Feind der Schmiedbarkeit, den Schwefel, unschädlich macht, indem es sich mit ihm verbindet und als MnS an die Oberfläche des flüssigen Eisenbades steigt. Schwefelhaltiges und ebenso sauerstoffhaltiges Eisen ist rotbrüchig, d. h. das Eisen ist gerade im hellrotglühenden Zustande, in dem es geschmiedet werden soll, brüchig. Phosphor übt in den geringen Mengen, in denen er im schmiedbaren Eisen zulässig ist, keinen nachteiligen Einfluß auf die Schmiedbarkeit aus.

Schweißbarkeit. Zwei Stücke Eisen können bei höherer Temperatur durch Druck so fest miteinander vereinigt werden, daß die Adhäsion zwischen ihnen (d. h. die Kraft, die sie zusammenhält) ebenso groß wird wie die Kohäsion zwischen den einzelnen Teilchen eines der beiden Stücke. Diese Eigentümlichkeit bezeichnet man mit Schweißbarkeit. Am besten schweißbar ist ganz reines Eisen; mit steigendem

Gehalt an Kohlenstoff und anderen Elementen nimmt die Schweißbarkeit schnell ab. Roheisen mit seinem hohen Gehalt an Fremdstoffen ist nicht mehr schweißbar. Besonders schädlich, auch schon in geringen Mengen, wirkt Schwefel auf die Schweißbarkeit. Ganz hervorragend schweißbar ist, wie schon sein Name besagt, das im teigigen Zustand erzeugte, schlackenhaltige Schweißeisen.

Die Gewerbseigenschaften des Eisens.

Festigkeit. Festigkeit nennt man den Widerstand, den die Kohäsion eines Stoffes dem Trennen in einzelne Teile entgegensetzt. Man unterscheidet je nach der Richtung der angreifenden Kraft: Zug-, Druck-, Biegungs-, Drehungs-, Scherfestigkeit u. a. m. Die Zugfestigkeit spielt die größte Rolle. Sie wird gemessen, indem man feststellt, mit wieviel Kilogramm auf 1 qmm Querschnitt der betreffende Stoff belastet werden kann, bis er zerreißt. Beim Eisen ist die Zugfestigkeit außerordentlich verschieden, sie kann zwischen 10 und mehr als 200 kg auf 1 qmm Querschnitt schwanken. Reines α-Eisen hat eine Festigkeit von etwa 30 kg, β-Eisen eine solche von nahezu 50 kg; mit steigendem Kohlenstoffgehalt im reinen Eisen wächst die Zugfestigkeit, sie erreicht die Höchstzahl von 80 kg auf 1 qmm bei etwa 1 % Kohlenstoff, darüber hinaus nimmt sie wieder ab, bis sie bei weißem Roheisen mit 4,2 % nur noch 10 kg beträgt. Im grauen Roheisen trägt der zwischen den Eisenkristallen abgelagerte mürbe Graphit bzw. die Temperkohle sehr zur Verminderung der Festigkeit bei. Ist Silizium neben Kohlenstoff vorhanden, so steigt die Festigkeit schon bei geringem Kohlenstoffgehalt. Ein höherer Siliziumgehalt beeinflußt dieselbe ungünstig wegen der Herbeiführung von Graphitabscheidung. Mangan neben Kohlenstoff dagegen wirkt bis zu gewissen Grenzen günstig, hauptsächlich wegen der schon erwähnten Unterbindung von Graphitabscheidung und auch wegen Abscheidung von Schwefel, der auf die Festigkeit einen verderblichen Einfluß ausübt. Außer Schwefel schadet auch ein Phosphorgehalt, wenn er $\frac{1}{2}$ % überschreitet. Außerordentlich vorteilhaft wirkt Nickel auf die Festigkeit des Eisens. Besonders große Festigkeit verleihen dem Eisen ferner Chrom, Wolfram, Molybdän und Vanadium. Stark beeinflußt wird die Festigkeit des Eisens auch durch sein Gefüge. Je feinkörniger das Gefüge, desto größer ist im allgemeinen die Festigkeit. Deshalb werden alle Faktoren, die ein feinkörniges Gefüge des Eisens im Gefolge haben, wie z. B. die mechanische Behandlung durch Schmieden,

Pressen und Walzen und schließlich möglichst schnelle Abkühlung, günstig auf die Festigkeitseigenschaften des Eisens einwirken (s. S. 93).

Härte. Die Härte ist derjenige Widerstand, den ein Stoff dem Eindringen in seine Oberfläche entgegensetzt. Die Härte des Eisens ist vornehmlich abhängig von den im Überschuß vorhandenen Gefügebestandteilen. Je mehr harte Gefügebestandteile die einzelnen Elemente bzw. die Abkühlungsvorgänge hervorrufen, desto größer ist also die Härte. Was den Kohlenstoff anbelangt, so ist der härteste Gefügebestandteil, den er mit Eisen bildet, das freie Eisenkarbid Fe_3C (Zementit). Danach folgt erst Martensit und Austenit (feste Lösungen von Eisenkarbid in γ-Eisen). Trotzdem erteilt das ausgeschiedene Karbid dem Eisen wegen der gleichzeitigen Anwesenheit weicher Gefügebestandteile wie Ferrit u. a. nicht dieselbe große Härte wie das gleichmäßig gelöste Karbid, dessen Vorhandensein der abgeschreckte Stahl seine Härte verdankt (vgl. S. 30). Neben dem Ferrit (besonders α-Ferrit) sind die weichsten Gefügebestandteile Graphit und Temperkohle. Graues Roheisen, das durch Zerfall des Eisenkarbids Graphit und Ferrit enthält, ist daher sehr weich, während weißes Roheisen, in dem das harte Eisenkarbid enthalten ist, die Härte von nicht abgeschrecktem Stahl erreichen kann. Alle Faktoren, die eine Verhinderung des Karbidzerfalls im Roheisen bewirken, wie schnelle Abkühlung und Mangangehalt, werden daher zur Erhöhung der Härte beitragen, während umgekehrt Silizium und langsame Abkühlung das Gegenteil bewirken. Phosphor erhöht die Härte, wenn er in geringen Mengen als Eisenphosphid im Eisen gelöst ist. Ganz bedeutend wird die Härte durch einen hohen Gehalt an Mangan, Chrom und Wolfram gesteigert, die mit dem Eisenkarbid Doppelkarbide bilden, welche noch härter und beständiger als das einfache Karbid sind.

Zähigkeit (Dehnbarkeit). Zähe (dehnbar) nennt man einen Stoff, wenn er eine bedeutende Formveränderung erträgt, ohne zu zerreißen oder zu zerbrechen. Danach ist also die schon erwähnte Schmiedbarkeit des Eisens nichts anderes als eine Art Zähigkeit bei hoher Temperatur. Viele Faktoren, die die Schmiedbarkeit vorteilhaft beeinflussen, werden daher im allgemeinen auch auf die Zähigkeit günstig einwirken. Große Zähigkeit hat das Eisen in vielen Fällen dann, wenn es wenig fest und wenig hart ist; so ist z. B. das wenig feste und sehr weiche α-Eisen sehr zähe. Die festesten und härtesten Kohlenstoffstähle sind am allerspödesten. So gut wie garnicht dehnbar ist das Roheisen, das ja auch nicht schmiedbar ist. Der größte

Feind der Dehnbarkeit ist der Phosphor, er macht d
brüchig, so daß es im erkalteten Zustande unter Un
bei einem Gehalt von 0,1 % brechen kann. Sonderb
Mangan. Einige Prozente von diesem Metall verring
keit, während etwa 12—14 % sie ganz bedeutend erhöh
vorteilhaft wirkt ein größerer Zusatz von Nickel auf
des Eisens, auch Chrom wirkt günstig.

Elektrische Leitfähigkeit. Magnetische ten. Die elektrische Leitfähigkeit ist bei dem reine
am größten, mit steigendem Gehalt an Kohlenstoff un
menten nimmt sie erheblich ab. Was die magnetischen
anbelangt, so ist das weiche, reine α-Eisen am leichteste
bar, es verliert aber seinen Magnetismus bald, wen
magnetische Einwirkung aufhört. Dauernden (reman
tismus dagegen zeigt harter abgeschreckter Stahl; die
selben wächst mit dem Kohlenstoffgehalt.

V. Kapitel.

Einteilung und Benennung der technisch Eisensorten.

Man teilt das technisch verwertete Eisen nach
schaften in die beiden Hauptgattungen, schmiedbar
Roheisen ein. Schmiedbares Eisen ist alles in d
durch Schmieden und ähnliche Verfahren be
Eisen, das bei der Erwärmung allmählich vo
Formart über einen teigigen Zustand in die fl
art übergeht. Roheisen nennt man dagegen
schmiedbare, spröde Eisen, welches beim Erhitz
bar schmilzt, ohne vorher teigig zu werden.

Technisch verwertetes schmiedbares Eisen enthäl
1,5 % Kohlenstoff, Roheisen hat dagegen stets einen h
stoffgehalt, der meist zwischen 3 und 4 % schwankt.
1,5—2,5 % C werden in der Praxis nicht verwendet,
gut schmiedbar noch gut zu gießen sind. Auch an ande
ist das schmiedbare Eisen im allgemeinen ärmer als
Eine Ausnahme hiervon machen höchstens die Spe

einen besonders hohen Gehalt an ganz bestimmten Elementen haben, (z. B. am Wolfram und Chrom).

Das Roheisen teilt man weiter ein in weißes und graues, je nachdem der Kohlenstoff im Eisen gelöst ist, bzw. als Eisenverbindung auftritt, sodaß die Bruchfläche weiß erscheint, oder ein Teil des Kohlenstoffs als Graphit (bzw. Temperkohle) ausgeschieden ist, der der Bruchfläche ein graues Aussehen erteilt.

Das schmiedbare Eisen hat zwei Unterabteilungen: Schweißeisen und Flußeisen. Ersteres wird im teigigen Zustande gewonnen und ist stets schlackenhaltig, letzteres erhält man im flüssigen Zustande, es ist daher frei von Schlacke. Schweißeisen und Flußeisen werden weiter eingeteilt in Schweißschmiedeeisen[1]) und Schweißstahl bzw. Flußschmiedeeisen[1]) und Flußstahl. Eine scharfe Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl gibt es nicht. Der Unterschied zwischen beiden beruht darin, daß Stahl durchweg ein härteres, spröderes, meist auch festeres schmiedbares Eisen ist als Schmiedeeisen.

Früher benutzte man als Unterscheidungsmerkmal zwischen Stahl und Schmiedeeisen die Härtbarkeit, d. h. jene Eigentümlichkeit gewisser schmiedbarer Eisensorten, nach plötzlicher Abkühlung aus höheren Temperaturen eine größere Härte aufzuweisen als bei langsamer Abkühlung. Diese Einteilung auf Grund der Härtbarkeit ist aber undurchführbar, weil der Übergang von nicht härtbarem zu härtbarem Eisen ganz allmählich stattfindet. Außerdem gibt es neuerdings Sorten schmiedbaren Eisens, die alle Eigenschaften eines Stahls besitzen, ohne daß sie eine Härtbarkeit aufweisen, bei denen sogar eine schnelle Abkühlung gerade das Gegenteil einer Härtung hervorrufen würde (naturharte Stähle, Selbsthärter). Auch andere Unterscheidungsmerkmale zwischen Stahl und Eisen, wie z. B. die Höhe des Kohlenstoffgehalts sind unglücklich gewählt, weil die Eigenschaften des Eisens bekanntlich noch durch verschiedene andere Elemente beeinflußt werden. Selbst die Zugfestigkeit gibt keine scharfe Grenze zwischen Stahl und Eisen, weil das Prüfungsergebnis verschieden ausfällt, je nachdem man dicke und dünne Stäbe des Materiales prüft und je nachdem es vorher ausgeglüht war oder nicht. Trotzdem hat man aber in vielen Fällen die Zugfestigkeit zur Trennung herangezogen und ist übereingekommen, mit Flußstahl alles im flüssigen Zustande gewonnene

1) Die Bezeichnung Schweißschmiedeeisen und Flußschmiedeeisen haben sich in der Praxis nicht eingebürgert, man sagt dafür kurz: Schweißeisen und Flußeisen.

schmiedbare Eisen zu bezeichnen, das nach dem Ausglühen eine Zugfestigkeit von 50 kg und mehr auf das qmm hat, und mit Schweißstahl alles im teigigen Zustande gewonnene schmiedbare Eisen, das eine Zugfestigkeit von 42 kg und mehr auf das qmm aufweist.

Fassen wir die deutsche Namenbezeichnung der Übersicht halber noch einmal zusammen, so erhalten wir folgendes Schema:

Technisch verwertetes Eisen

- Roheisen
  - Graues Roheisen
  - Weißes Roheisen
- Schmiedbares Eisen
  - Schweißeisen
    - Schweißstahl
    - Schweiß(schmied)-eisen
  - Flußeisen
    - Flußstahl
    - Fluß-(schmied-)eisen

Wegen der Schwierigkeit, eine genaue Grenze zwischen Schmiedeeisen und Stahl anzugeben, bezeichnet man in Amerika, England und Frankreich beide Gattungen kurzweg mit Stahl (steel, acier). Auch in Deutschland läßt man vielfach den Unterschied vollständig außer acht. So spricht man, gleichgültig ob harter Stahl oder weiches Schmiedeeisen darin erzeugt bzw. verarbeitet wird, von Stahlwerken, Elektrostahlöfen, Stahlgießereien usw. und man nennt Stahlguß oder Stahlformguß alles in Formen gegossene schmiedbare Eisen, mag es hart oder weich sein.

Oft bezeichnet man das Eisen nach seinem Herstellungsverfahren und nennt es dann z. B. Puddeleisen, Thomasstahl, Martinflußeisen, Tiegelstahl (früher Gußstahl). Auch gibt man den Eisensorten Namen, die auf ihren Verwendungszweck hindeuten, z. B. Gießereiroheisen, Puddel-, Bessemer-, Thomasroheisen, Stahleisen (Roheisen für den Martinprozeß) ferner Schienenstahl, Werkzeugstahl, Konstruktionsstahl. Hämatit ist ein phosphorarmes Gießereiroheisen, Spiegeleisen ist ein manganreiches Roheisen.

Endlich nennt man ein Eisen auch nach irgendwelchen Stoffen, die in ihm in besonders großen Mengen vorkommen, z. B. Nickelstahl, Molybdänstahl.

VI. Kapitel.

Die Brennstoffe.

Als Brennstoffe dienen im Eisenhüttenwesen von der Natur hervorgebrachte organische Stoffe und aus diesen erzeugte künstliche Stoffe (vgl. S. 26).

Natürliche Brennstoffe. Von den natürlichen Brennstoffen spielt das Holz wegen seines hohen Preises und seines geringen Heizwertes keine Rolle in der Eisenindustrie. Um so wichtiger sind aber die fossilen organischen Brennstoffe für das Eisenhüttenwesen. Das sind entweder die Reste von Pflanzen, welche vor langen Zeiten auf der Erde gediehen, oder sie sind aus den Körpern von Tieren entstanden, die vergangenen Erdperioden angehörten. Zu den aus Pflanzen entstandenen Brennstoffen gehören Torf, Braunkohle, Steinkohle und Anthrazit. Je älteren geologischen Entstehungsperioden das Verkohlungserzeugnis angehört, desto höheren Kohlenstoffgehalt hat es im allgemeinen. Die folgende kurze Zusammenstellung gibt hierüber Aufschluß.

Bezeichnung	Geologische Entstehungsperiode	Zusammensetzung der reinen wasser- und aschefreien Substanz in Gewichtsprozent.			Heizwert d. reinen brennbaren Subst. in W.-E.	Heizwert des Rohstoffs mit Wasser u. Aschebestandteilen in W.-E.
		C	H	O		
Holz	Alluvium	50	6	44	4500	lufttrocken 3600
Torf	Alluvium Diluvium	60	6	34	6500	lufttrocken 3500—4500
Braunkohle	Tertiär	65—75	6	29—19	6500—7000	lufttrocken bis 5000
Steinkohle	Meistens Carbon	75—90	6—4	19—6	7700—8600	6500—8400
Anthrazit	Carbon, Devon Silur	95	2	3	8500	7500—8000

Torf und Braunkohle finden auch in lufttrockenem Zustande wegen ihres geringen Heizwertes nur sehr selten Anwendung im Eisenhüttenwesen. In Form von Briketts, die mit 1300 bis 1500 at Druck durch Maschinen gepreßt werden, ist die Braunkohle jedoch ein guter Brennstoff. Braunkohlenbriketts haben einen Heizwert von etwa 5000 W.-E. Sie werden mit Vorliebe in Eisengießereien zur Heizung von Trockenöfen u. dgl. verwendet.

Von viel größerer Bedeutung als die Braunkohle ist jedoch die Steinkohle für das Hüttenwesen. Der dritte Teil aller geförderten Steinkohlen wird in der Eisenindustrie verwendet, d. i. doppelt soviel als für den Bau und gesamten Betrieb der Schiffe und Eisenbahnen. Nach der Menge des Gasgehalts der reinen Steinkohle unterscheidet man Gasflammkohlen, Gaskohlen, Fettkohlen,

Magerkohlen, anthrazitische Kohlen und Anthrazite. Die sehr gasreichen Gasflamm- und Gaskohlen verbrennen mit langer, Magerkohle und Anthrazit mit kurzer Flamme, Fettkohlen stehen inbezug auf die Flammenbildung in der Mitte. Nach ihrem Verhalten bei der Verkokung, d. h. bei Erhitzung unter Luftabschluß, teilt man die Steinkohlen außerdem in Sand-, Sinter- und Backkohlen. Der feste Rückstand der gepulverten Sandkohle bleibt pulverförmig, während er bei der Sinterkohle oberflächlich zusammenklebt (sintert) und bei der Backkohle zu einer teigartigen durch entweichende Gase aufgeblähten Masse zusammenschmilzt. Die gasreichen Kohlen (Gasflammkohlen) sowohl als auch die gasärmsten Anthrazite neigen zur Sandbildung. Die dann folgenden Kohlen, also Gaskohlen einerseits, Magerkohlen andererseits, haben das Bestreben zu sintern. Die in der Mitte stehenden Fettkohlen dagegen sind die besten Backkohlen und sind daher am geeignetsten zur Verkokung.

Erdöl und Erdgas. Diese beiden natürlichen Brennstoffe werden auf deutschen Hüttenwerken gegenwärtig nur ausnahmsweise verwendet, sie bedürfen daher hier keiner näheren Besprechung.

Künstliche Brennstoffe. Für viele Zwecke braucht der Hüttenmann Heizstoffe mit solchen Eigenschaften, wie sie die natürlichen Brennstoffe nicht oder nur in Ausnahmefällen aufweisen. So benötigt man z. B. zur Darstellung des Roheisens im Hochofen einen Brennstoff, der möglichst fest, porös und frei von Verunreinigungen (Schwefel) ist. Einen solchen liefert die Natur aber nicht, man muß ihn also künstlich herstellen.

Zu diesem Zwecke unterwirft man das Holz oder die backfähige Steinkohle der sog. trockenen Destillation, d. h. der Erhitzung unter Luftabschluß (Verkokung). Hierbei erhält man als Rückstand Holzkohle bzw. Koks.

Holzkohle. Die Holzkohle, welche früher in waldreichen Gegenden in Meilern dargestellt wurde, hat gegenüber dem Koks den Vorzug, daß sie vollständig frei ist von dem gefürchtetsten Feinde des Eisens, dem Schwefel. Man kann mit ihrer Hilfe daher ein hervorragend reines Roheisen darstellen. Durch den steigenden Holzwert und die zunehmende Massenerzeugung an Eisen ist aber die früher ausschließlich benutzte Holzkohle, wie wir aus dem I. Kapitel wissen, fast vollständig als Brennstoff verdrängt worden.

Koks. Der Koks zeichnet sich der Steinkohle gegenüber dadurch aus, daß er fester und poröser, auch freier von Schwefel ist als diese.

Der reine asche- und wasserfreie Koks kann bis 95% C enthalten. Der Heizwert des gewöhnlichen Kokses, der meist bis zu 10% Asche enthält, schwankt zwischen 6700 und 7200 W.-E. Auf nähere Beschreibung der Darstellung des Kokses kann wegen des beschränkten Raumes nicht eingegangen werden. Es sei nur erwähnt, daß die Verkokung der Steinkohle in schmalen rechteckigen Öfen vor sich geht, von denen stets eine größere Anzahl unmittelbar nebeneinander liegen. Die gut verschlossenen Öfen, in welche die Kokskohle, die also eine gut backende Kohle (Fettkohle) sein muß, von oben hineingefüllt wird, werden von außen mit Gas auf etwa 1400° erhitzt. Die Dauer der Verkokung beträgt 24—30 Stunden. Bei der Erhitzung entweichen Gase, die sehr wertvolle Bestandteile enthalten, vornehmlich Teer, Ammoniak, Benzol. Durch Abkühlung der Gase an kalter Luft und Wasser scheidet sich der Teer ab, während Ammoniak bei Durchleitung des Gases durch Wasser von diesem aufgenommen wird und Benzol bei Durchleitung durch Teeröle gewonnen wird. Das Ammoniak wird meist gleich an Ort und Stelle, also am Schacht oder auf der Hütte, auf Ammoniumsulfat weiter verarbeitet, das ein von der Landwirtschaft viel begehrtes Düngemittel ist. Teer und Benzol dagegen werden meist als Rohstoffe für Herstellung einer langen Reihe wertvoller Erzeugnisse an chemische Fabriken verkauft.

Neben dem Koks, also künstlich erzeugtem festem Brennstoff, werden im Eisenhüttenwesen auch künstliche gasförmige Brennstoffe verwendet. Wir können zwischen solchen unterscheiden, die als Nebenerzeugnis gewonnen werden wie Koksofen- und Hochofengas und solchen, die absichtlich zu ganz bestimmten Verwendungszwecken dargestellt werden wie das Generatorgas.

Koksofengas. Das von Teer, Ammoniak und Benzol befreite Koksofengas besteht vornehmlich aus Wasserstoff H und Methan CH_4. Sein durchschnittlicher Heizwert beträgt 4300 W.-E. Ein Teil desselben wird meist zum Heizen der Koksöfen benutzt, der Überschuß dient zur Heizung von Dampfkesseln und metallurgischen Öfen oder zum Antrieb von Gasmaschinen.

Gichtgas (Hochofengas). Das Gichtgas entsteht bei der Roheisendarstellung im Hochofen, aus dessen oberstem Teil (Gicht) es abgezogen wird. Seine Zusammensetzung ist sehr verschieden, sie hängt in erster Linie von der Menge des aufgegebenen Koks und der Art der verschmolzenen Erze ab. Ihr wertvollster Bestandteil ist Kohlenoxyd (bis 30%), daneben findet sich ein hoher Stickstoffgehalt vor, etwa 60%. Wegen dieses hohen Stickstoffgehalts ist der Heizwert

gering, 1 cbm Gichtgas entwickelt nur 600—950 W.-E. Über die Verwendung des Gichtgases wird später noch gesprochen werden.

Generatorgas. Abgesehen von diesen als Nebenerzeugnis erhaltenen gasförmigen Brennstoffen erzeugt man noch absichtlich für einige Zwecke brennbare Gase, so z. B. für die Beheizung der Siemens-Martinöfen. (S. d.)

Das Heizen mittels brennbarer Gase bietet nämlich große Vorteile gegenüber der Heizung mit festen Brennstoffen. Zur Unterhaltung einer vollkommenen Verbrennung d. h. zur Herbeiführung einer vollständigen Oxydation aller oxydierbaren Bestandteile des Brennstoffs ist nämlich immer das Vorhandensein eines gewissen Luftüberschusses erforderlich. Ein solcher Luftüberschuß ist aber stets dann von Nachteil, wenn er in zu großen Mengen zugeführt werden muß, da er einen Teil der entwickelten Wärme zu seiner eigenen Erwärmung verbraucht, also die nutzbare Wärmemenge stark vermindert. Man wird daher mit einem möglichst geringen Luftüberschuß den Verbrennungsprozeß zu unterhalten trachten. Dies ist aber nirgends besser möglich, als bei gasförmigen Brennstoffen, mit denen sich die Luft am leichtesten vermischt. Flüssige Brennstoffe verhalten sich in dieser Hinsicht ungünstiger und am ungünstigsten die festen. Aus diesem Grunde schon ist die Vergasung fester Brennstoffe günstig. Hinzu kommt, daß man einem Gas durch Vorwärmung (vgl. Siemens-Martinverfahren) einen großen Wärmevorrat für den Verbrennungsprozeß mitgeben kann. Ferner ist es möglich, durch Vergasung auch minderwertige, sonst unbrauchbare feste Brennstoffe vorteilhaft verwenden zu können. Schließlich aber hat die Gasfeuerung noch für den Betrieb selbst die Vorteile, daß die Verbrennung rußfrei und sehr gleichmäßig vor sich geht und daß Brenngase an einer Zentralstelle erzeugt und von hier nach Bedarf fortgeleitet werden können.

Die Gaserzeugung geht in sogenannten Generatoren vor sich, die in ihrer einfachsten Art aus einem geschlossenen Schacht von zylinderförmigem Querschnitt bestehen. Oben wird die Kohle durch einen Beschickungstrichter eingebracht und von unten her wird Luft oder Luft und Wasserdampf zugeführt. Die entstehenden Gase entweichen durch ein im oberen Teil angebrachtes Rohr. Die Gaserzeugung im Generator beruht teils auf einer unvollkommenen Verbrennung des in den Brennstoffen vorhandenen Kohlenstoffs (vgl. S. 17), teils auf einer trockenen Destillation (vgl. S. 42) und Trocknung des rohen Brennstoffs. Die Zusammensetzung der Generatorgase ist von der Wahl des Brennstoffs und zahlreichen anderen Faktoren abhängig.

Der wertvollste Bestandteil derselben ist das Kohlenoxyd (bis zu 32 Volumprozent), außerdem sind darin enthalten Wasserstoff (etwa 10%), ferner Kohlensäure, Methan und vor allem Stickstoff, der aus der zugeführten Verbrennungsluft stammt und meist mit mehr als 50% an der Zusammensetzung beteiligt ist. Der Brennwert von 1 cbm Generatorgas schwankt zwischen 1000 und 1500 W.-E.

VII. Kapitel.

Die eisenhaltigen Rohstoffe und die Zuschläge. Die Vorbereitung der Erze für die Verhüttung.

1. Die Eisenerze.

Das Eisenmetall kommt in der Natur fast nur in chemischen Verbindungen mit anderen Elementen vor. In erster Linie tritt es in Form von Oxyden bzw. Hydroxyden und als Karbonat auf. Alle anderen natürlichen Verbindungen des Eisens haben keine oder nur geringe Bedeutung für das Eisenhüttenwesen. Im gediegenen Zustande, d. h. als Eisenlegierung, findet sich Eisen nur an vereinzelten Stellen, hauptsächlich in den trockenen Polargegenden, wo es vor Zerstörung durch Rost mehr geschützt ist als in den feuchten mittleren Zonen. Es ist in solchen Fällen fast stets nickelhaltiges Meteoreisen, das von fremden Himmelskörpern stammt und beim Durchfliegen des Weltenraums von der Erde angezogen wurde. Zur Eisendarstellung kommt es kaum in Betracht.

Die natürlichen chemischeu Verbindungen des Eisens, die einen so hohen Eisengehalt haben, in solcher chemischen Zusammensetzung und in so großer Menge vorkommen, daß sie in wirtschaftlich vorteilhafter Weise technisch verarbeitet werden können, nennt man Eisenerze.[1]) In reinem Zustande kommen Eisenerze natürlich fast nie vor, sie sind durch andere Mineralien (Gangarten), wie z. B. Kieselsäure (SiO_2), Tonerde (Al_2O_3), Kalk (CaO), Magnesia (MgO) in mehr oder weniger großen Mengen verunreinigt und sind auch untereinander oft gemengt. Ihr Gehalt an Eisen entspricht daher fast nie dem theoretisch

1) Der Mineraloge nennt im Gegensatz hierzu alle natürlichen Eisenverbindungen Erze, gleichgültig wie hoch ihr Eisengehalt ist, welche chemische Zusammensetzung sie haben und in wie großen Mengen sie an einer Stelle vorkommen; sie müssen nur metallischen Habitus aufweisen.

möglichen Höchstgehalt. Die vier wichtigsten Eisenerze sind der Magnet-, Rot-, Braun- und Spateisenstein.

Magneteisenstein, Magnetit, Eisenoxydoxydul Fe_3O_4, theoretischer Höchstgehalt an Eisen 72,4 %, natürlicher Gehalt 45—70 %. Das ausgedehnteste Magneteisenerzvorkommen ist das im nördlichen Schweden (Gellivara, Kirunavara und Luossavara). Der größte Teil von diesen Erzen wird in England und Deutschland verhüttet. Weitere berühmte Magneteisensteinvorkommen sind in Mittelschweden bei Grängesberg und bei Dannemora. Die Erze von Dannemora sind phosphorfrei; sie bilden die Grundlage für die Darstellung des wegen seiner Reinheit berühmten schwedischen Holzkohlenroheisens. Ferner kommt Magneteisenerz in großen Lagern vor in Norwegen, dem Ural, Ungarn und außerdem an zahlreichen Stellen außerhalb Europas. In Deutschland ist das bekannteste, im übrigen aber unbedeutende Vorkommen das bei Schmiedeberg im Riesengebirge.

Roteisenstein, Hämatit, Eisenoxyd Fe_2O_3, theoretischer Höchstgehalt an Eisen 70 %, natürlicher Gehalt 40—65 %. Das Erz ist leicht erkennbar an dem roten Strich, den es beim Reiben auf einer rauhen weißen Porzellanplatte hinterläßt. Mächtige Lager von Roteisenstein finden sich in den Vereinigten Staaten von Amerika am Lake Superior (Oberer See) und zwar in den Staaten Minnesota, Michigan, Wisconsin, ferner am Atlantischen Ozean in Alabama. Das Erz ist reich und liegt zum großen Teil unmittelbar an der Erdoberfläche, so daß es leicht gewonnen werden kann. Weitere große Roteisensteinlager gibt es auf der Insel Kuba. In England tritt Roteisenstein hauptsächlich in West-Cumberland und Lancashire auf. Von großer Bedeutung sind die Roteisenerzlager vieler Mittelmeerländer. Als das berühmteste und schon im Altertum bekannte ist das der Insel Elba zu nennen, wo das Erz schön kristallisiert als sog. Eisenglanz auftritt. In Spanien findet sich das Erz bei Bilbao und Cartagena. Ganz hervorragend reiner Roteisenstein wird auf den Höhen des Atlasgebirges gefunden in Algier, Tunis und schließlich in Marokko, das wir uns nun endgültig von unseren Nachbarn haben fortschnappen lassen, nicht nur zum Schaden deutschen Ansehens, sondern auch zum Nachteil des deutschen Eisenhüttenwesens und damit der wirtschaftlichen Macht unseres Vaterlandes. Aus Spanien und den nordafrikanischen Ländern wird eine große Menge Erz nach Deutschland und England ausgeführt. Von sonstigen ausländischen Roteisensteinlagern ist noch dasjenige von Krivoi Rog in Südrußland sehr berühmt, von wo aus viel Erz nach Oberschlesien geliefert wird. In

Deutschland tritt der Roteisenstein in größerer Menge im Lahn- und Dillgebiet neben Brauneisenstein auf. Sonstige deutsche Vorkommen von geringerer Bedeutung liegen im Harz, Thüringer Wald, Erzgebirge, im sächsischen Vogtlande, Westfalen (Brilon, Minden), Hannover (Osnabrück).

Brauneisenstein, Limonit, Eisenhydroxyd mit wechselndem Gehalt an Hydratwasser; Zusammensetzung schwankt zwischen $2Fe_2O_3 + 3H_2O$ und $F_2O_3 + 2H_2O$; theoretischer Höchstgehalt an Eisen (in getrocknetem Zustande) 60%. Im Gegensatz zum Roteisenstein gibt das Erz auf einer rauhen Porzellanplatte einen braunen bis hellgelben Strich. Die wichtigste Abart des Brauneisensteins ist das oolithische Erz. Dies besteht aus Knollen und Körnern, die durch ein kieseliges, toniges oder kalkiges Bindemittel fest verkittet sind. Das größte Vorkommen oolithischen Brauneisensteins ist das zusammenhängende Minettelager in Lothringen, Luxemburg und Frankreich mit dem Mittelpunkte etwa bei dem lothringischen Dorfe Aumetz. Das Minettelager ist das größte Erzvorkommen Europas, ja vielleicht der ganzen Erde. Man schätzt neuerdings seinen Erzvorrat auf 3500 Millionen t. Das Minettevorkommen bildet die wichtigste Quelle der deutschen Eisenerzeugung. Vier Fünftel aller in Deutschland geförderten Erze sind Minette. Der Eisengehalt der Minette schwankt zwischen nur 28 und 39%, im übrigen ist sie reich an Phosphor (im Mittel 0,75%). Das Erz ist wegen seines hohen Kalkgehalts selbstschmelzend und sehr leicht gewinnbar, da es größtenteils an der Oberfläche liegt. Das zweite nächst der Minette wichtigste deutsche Vorkommen oolithischen Brauneisensteins ist das Bohnerzlager bei Groß-Ilsede (Prov. Hannover). Auch dieses Erz zeichnet sich durch hohen Kalk- und Phosphorgehalt aus und bedarf bei Zusammenschmelzen mit sauren Erzen keines Zuschlags. Sonstige Bohnerzvorkommen finden sich am Harz (Harzburg, Salzgitter), am Teutoburger Wald, im Wesergebirge, Vogelsberg (Hessen), Schweizer Jura und in der Schwäbischen Alp.

Gewöhnlicher Brauneisenstein mit hohem Eisen- und Mangangehalt und von höchster Reinheit wird in Algier und Spanien gewonnen und nach Deutschland und England ausgeführt. Sonstige Brauneisensteinvorkommen liegen im Ural, in Böhmen, Ungarn, Dalmatien und auf der englischen Halbinsel Wales. In Deutschland tritt das Erz neben dem Roteisenstein im Lahn- und Dillgebiet auf, es zeichnet sich dort teilweise durch sehr hohen Mangangehalt aus, der manchmal dem Eisengehalt sogar gleich kommt (Manganerze). Ferner

wird Brauneisenstein in Oberschlesien gewonnen, wo er bald erschöpft ist, und bei Aachen. Hier und in Oberschlesien ist er durch Blei und Zink verunreinigt. Schließlich sind noch die Vorkommen in Thüringen (Saalfeld, Groß-Kamsdorf, Schmalkalden) zu erwähnen.

Eine Abart des Brauneisensteins, das Raseneisenerz, welches in der norddeutschen Tiefebene an vielen Stellen abgelagert war, ist bereits zum größten Teile aufgebraucht und kommt daher für die Eisenindustrie kaum mehr in Betracht.

Spateisenstein (Siderit, $FeCO_3$), mit einem theoretischen Eisengehalt von 48,3 %. Das wichtigste deutsche Spateisensteinvorkommen ist das siegerländische. Der Siegerländer Spateisenstein ist verhältnismäßig rein und hat einen Mangangehalt von 5—7 %. Von außerdeutschen Vorkommen ist das in Steiermark in der Nähe von Leoben am berühmtesten. Die dortigen Erze, die schon von den alten Römern abgebaut und verhüttet wurden, zeichnen sich durch seltene Reinheit aus. Neben diesem Erzvorkommen ist das in Kärnten und Ungarn von Bedeutung.

Eine Abart des Spateisensteins ist der Toneisenstein (Sphärosiderit), ein mit Ton innig gemengter Spateisenstein. Ein großes Toneisensteinlager befindet sich in Westfalen an der holländischen Grenze. Die Hauptfundstätten von Toneisenstein liegen in England (Lincolnshire). Hier ist das Erz öfter noch mit Kohle gemengt und heißt dann Kohleneisenstein (blackband). Zwei Drittel aller in England geförderten Eisenerze sind Ton- bzw. Kohleneisensteine.

2. Sonstige verhüttbare Rohstoffe.

Außer den aufgezählten Erzen werden auch noch die in der Natur vorkommenden Eisen- oder Schwefelkiese (FeS_2) verhüttet, nachdem sie zur Schwefelsäuredarstellung geröstet, d. h. bis zu einem gewissen Grade bei Luftzutritt erhitzt worden sind. Hierbei wird der Schwefel ausgetrieben und das Eisen bleibt in oxydischer Form zurück. Solche geröstete Schwefelkiese nennt man Kiesabbrände, auch Purpurerze (englisch purple ore). Ferner gelangen noch die verschiedensten Eisenschlacken zur Verhüttung z. B. Frischfeuerschlacken, Schweißschlacken, Puddelschlacken, Thomasschlacken, die beiden letzteren hauptsächlich wegen ihres Phosphorgehalts.

3. Die Zuschläge.

Bei der Darstellung des Roheisens aus den Erzen im Hochofen erhält man neben dem Eisen noch Schlacken, die mit dem Eisen zu-

sammen niedergeschmolzen werden müssen, da sie sonst den Ofenraum vollständig ausfüllen und den Prozeß zum Stillstand bringen würden. In den Hochofenschlacken finden sich alle diejenigen mineralischen Bestandteile wieder, die den Erzen als Gangarten und den Brennstoffen als Aschenbestandteile beigemengt waren und nur teilweise oder gar nicht vom Eisen aufgenommen worden sind. Alle jene Stoffe haben eine größere Verwandtschaft zum Sauerstoff als das Eisenmetall, deswegen werden sie im Gegensatz zum Eisen gar nicht oder nur in geringen Mengen durch das Kohlenoxyd oder den festen Kohlenstoff aus ihren Sauerstoffverbindungen reduziert. Die wichtigsten jener schlackebildenden Oxyde sind Magnesia (MgO), gebrannter Kalk (CaO), Tonerde (Al_2O_3), Kieselsäure (SiO_2), Phosphorsäure (P_2O_5) und Manganoxydul (MnO). Auf S. 15 waren bereits Magnesia und gebrannter Kalk als zu den Basen gehörig erwähnt worden, auch Manganoxydul rechnet dazu. Erze und Schlacken, in denen diese Bestandteile überwiegen, nennt man daher basisch, während sie bei überwiegendem Vorhandensein von Kieselsäure und Phosphorsäure, in gewissem Sinne auch von Tonerde sauer genannt werden. Die meisten der aufgezählten Oxyde haben nun einen so hohen Schmelzpunkt, daß sie einzeln im Hochofen überhaupt nicht zum Schmelzen gebracht werden könnten. Man muß daher auf irgendeine Weise ihren Schmelzpunkt erniedrigen, und das geschieht einfach dadurch, daß man ihnen andere Stoffe zusetzt (Zuschläge). Am günstigsten wirken Zuschläge von entgegengesetzter Wirkung des Erzes. Hat man also ein saures (z. B. kieselsäurereiches) Erz, so wird man ihm basische (kalkige) Zuschläge geben, einem kalkigen Erz dagegen wird man Kieselsäure zusetzen. Die meisten Zuschläge sind kalkiger Natur, da die Mehrzahl der Erze zu hohen Kieselsäure- und Tonerdegehalt aufweist. Enthalten verhüttbare Erze von vornherein in so günstiger Weise aus sauren und basischen Bestandteilen zusammengesetzte Gangarten, daß sie keines Zuschlages bedürfen, wie die lothringische Minette und die in Ilsede verhütteten Brauneisenerze, so nennt man sie selbstschmelzende Erze.

4. Vorbereitung der Eisenerze für die Verhüttung.

Die meisten Eisenerze können in dem Zustande, in dem sie durch den Bergbau gewonnen worden sind, unmittelbar im Hochofen verhüttet werden. In manchen Fällen bedürfen sie jedoch einer Vorbereitung.

So werden z. B. die Spateisensteine (Eisenkarbonat $FeCO_3$) im

Siegerlande und in Steiermark vorher einer **Röstung** unterworfen, d. h. sie werden bei Luftzutritt erhitzt, wobei die Kohlensäure ausgetrieben und das Karbonat in das Oxyd übergeführt wird. Durch das Rösten, das gleich an der Eisensteingrube in besonderen Röstöfen vorgenommen wird, erlangt man folgende Vorteile: zunächst wird das Gewicht des Erzes, aus dem die Kohlensäure und mit dieser gleichzeitig der Wassergehalt entfernt worden ist, um etwa 30 % vermindert, so daß die Transportkosten außerordentlich verringert werden. Ferner braucht der Hochofen nun die Röstung nicht mehr vorzunehmen, und der Heizwert des Gichtgases wird durch Kohlensäure und Wasserdampf nicht verringert.

Eine zweite Art der Erzvorbereitung ist die **Brikettierung**. Neben den grobstückigen Erzen finden sich meist noch feinkörnige vor, sei es, daß sie als solche in der Natur vorhanden sind oder bei der bergmännischen Gewinnung und dem Transport aus den grobstückigen erst entstanden sind. Die feinkörnigen Erze üben, besonders wenn sie in größerer Menge vorkommen, auf die Verhüttung im Hochofen sehr schädliche Einflüsse aus. Zunächst rollen sie leicht durch die Zwischenräume zwischen den größeren Stücken hindurch und werden auf diese Weise zu frühzeitig geschmolzen. Die geschmolzenen Feinerze wirken dann leicht als Bindemittel zwischen den groben Stücken, d. h. sie bilden mit jenen eine zusammenhängende Masse, die im Hochofen nicht nachrücken kann und auf diese Weise das sog. Hängenbleiben der Gichten verursacht. Ferner erschweren sie durch die Verengung der Zwischenräume zwischen den Erzen den Durchgang des Windes und schließlich bilden sie leicht Staub, der die Gichtgase als sog. Gichtstaub für gewisse Zwecke geradezu unbrauchbar macht und erst auf umständliche Weise wieder daraus entfernt werden muß. Alle diese Nachteile der Feinerze verlangen eine Brikettierung, also eine Überführung in Stückform, ähnlich wie sie bei der feinen Braun- und Steinkohle vorgenommen wird. Die Erzbriketts müssen neben großer Haltbarkeit auch eine gewisse Porosität haben, damit die Reduktionsgase gut bis in ihre innersten Teile einzudringen vermögen. Um nicht allzuhohen Druck bei der Pressung der Briketts anwenden zu müssen, setzt man dem Erz ein mineralisches oder organisches Bindemittel zu, falls nicht ein natürliches Bindemittel, wie in den tonigen Erzen, schon von vornherein darin enthalten ist. Solche mit natürlichen oder künstlichen Bindemitteln innig gemischten und dann gepreßten Erzbriketts muß man ähnlich wie die Ziegelsteine nach der Pressung noch erhärten lassen.

In einzelnen Fällen müssen die Erze vor ihrer Verwertung auf den Eisenwerken aufbereitet werden, d. h. von einem Teil der beigemengten Mineralien (Gangarten) auf mechanischem Wege befreit werden. Das geschieht entweder auf Grund des verschiedenen spezifischen Gewichts des Erzes und der Gangarten mit Hilfe eines auf- und niedergehenden und zugleich fließenden Wasserstromes oder auf Grund der verschiedenen Magnetisierbarkeit des Eisens und der übrigen Mineralien mit Hilfe eines Elektromagneten. Man unterscheidet danach zwischen nasser und zwischen magnetischer Aufbereitung.

Die Darstellung des technisch verwerteten Eisens.

Einleitung.

Der Hauptbestandteil des technisch verwerteten Eisens ist, wie aus dem 2. und 3. Kapitel hervorgeht, das Metall Eisen, das in der Natur in erster Linie als Oxyd vorkommt. Tritt es in anderen Verbindungen, z. B. als Karbonat auf, so wird es vor der Verhüttung in ein Oxyd übergeführt, so daß also als Rohstoffe der Eisendarstellung nur Sauerstoffverbindungen des Eisens in Betracht kommen.

Bei der Darstellung des technisch verwerteten Eisens handelt es sich nun darum, das Eisenmetall aus den Sauerstoffverbindungen zu befreien und es sodann mit solchen Mengen verschiedener Stoffe zu legieren, daß ihm die dem jeweiligen Verwendungszwecke entsprechenden Eigenschaften gegeben werden. Die Erfahrung hat gelehrt, daß es gegenwärtig nur einen Weg gibt, auf dem dieses Ziel mit wirtschaftlichem Erfolge erreicht werden kann. Dieser Weg ist der, durch den Hochofenprozeß ein nicht schmiedbares Roheisen herzustellen, das mit einer verhältnismäßig großen Menge von Fremdstoffen legiert ist, und zur Darstellung von schmiedbarem Eisen diese Fremdstoffe so weit als erforderlich wieder aus dem Roheisen zu entfernen. Diese Entfernung geschieht vermittels der sog. Frischverfahren durch Oxydation. Der zur Oxydation erforderliche Sauerstoff wird dabei entweder unmittelbar der Luft entnommen oder festen sauerstoffhaltigen Stoffen, wie Eisenerzen, Schlacken u. dgl. Die entstehenden Oxyde bilden entweder eine Schlacke oder entweichen als Gase an die Außenluft.

Die Frischverfahren zur Darstellung des schmiedbaren Eisens sind der Puddelprozeß, das Bessemer- und das Thomasverfahren, die

Siemens-Martinprozesse und endlich das Glühfrischen. Bei dem Puddelprozeß erhält man aus dem Roheisen ein schlackenhaltiges schmiedbares Eisen, das sog. Schweißeisen, während man durch das Bessemer- und Thomasverfahren (Windfrischen) und die Siemens-Martinprozesse (Herdfrischen) ein schlackenfreies Flußeisen erzielt. Durch das Glühfrischen schließlich wird Roheisen in festem Zustande in schmiedbares Eisen verwandelt.

Zur Veredelung des Schweiß- und Flußeisens dienen das Zementieren, das Tiegelstahl- und das Elektrostahlverfahren.

VIII. Kapitel.

Die Darstellung des Roheisens.

Die Darstellung des Roheisens erfolgt in einem Hüttenapparat, der Hochofen genannt wird. Sie beruht auf der Reduktion der oxydischen Eisenerze, der Schmelzung des reduzierten Eisens und der Auflösung von Kohlenstoff und anderen Elementen in dem Eisenmetall.

Der Hochofenprozeß hat im wesentlichen folgenden Verlauf: Eisenerze und Zuschläge werden abwechselnd mit Koks oben in den Hochofen (s. Abb. 3) gefüllt, während unten in den Ofen erhitzte Luft, der Wind, geblasen wird. Durch diesen verbrennt Koks zu Kohlenoxydgas, das in dem Ofen hochsteigt, während Erze, Zuschläge und Brennstoffe dem Gasstrom entgegen abwärts sinken. Bei diesem Herabsinken wird dem Erz durch Kohlenoxyd und festen Kohlenstoff der Sauerstoff entzogen, es wird also zu metallischem Eisen reduziert. In der tiefsten heißesten Zone des Ofens schmilzt dann das gesamte reduzierte Eisen, löst Kohlenstoff und andere den Rohstoffen entstammende Elemente in sich auf und wird als Roheisen in gewissen Zeitabständen im untersten Teil des Ofens abgestochen. Die niedergeschmolzene Schlacke, welche wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts auf dem flüssigen Eisen schwimmt, fließt durch eine obere Öffnung in ununterbrochenem Strom ab. Die entstehenden sehr wertvollen Gase, die Gichtgase, werden am oberen Teil des Ofens abgefangen, um zu den verschiedensten Zwecken verwendet zu werden.

Zur Darstellung des Roheisens werden also dem Hochofen Erze, Zuschläge, Brennstoffe von oberher und Wind von untenher zugeführt, während Roheisen, Schlacke und Gichtgase gewonnen werden. Die Vorbereitung der Erze, Zuschläge und Brennstoffe für den Hochofenprozeß ist bereits in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben worden. Es ist hier also noch die Vorbereitung der Luft zu erörtern. Dann

soll als Mittelpunkt des Interesses in diesem Kapitel eine kurze Beschreibung des Hochofens und des Hochofenprozesses selbst folgen, und zum Schluß werden die Hochofenerzeugnisse Roheisen, Schlacke und Gichtgas und ihre Verwendungszwecke besprochen werden.

Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß. Die Luft ist bekanntlich ein Gasgemisch, das in trockenem Zustande aus etwa 79 % Stickstoff und 21 % Sauerstoff (in Raumteilen) besteht. Die sonstigen Bestandteile kommen nur in ganz geringer Menge vor und sind daher bedeutungslos für den Hochofenprozeß. In natürlichem Zustande enthält die Luft stets noch Wasserdampf und zwar desto mehr, je wärmer sie ist. Auf 1 cbm Luft (etwa 1,3 kg) kommen, wenn sie mit Wasserdampf gesättigt ist, bei -10^0 etwa 3 g, bei $+15^0$ etwa 13 g und bei $+30^0$ sogar 29 g Wasserdampf.

Während der Sauerstoff der Luft die im Hochofen erforderlichen Reaktionen bewirkt, geht der Stickstoff durch den ganzen Hochofen unverändert hindurch. Er nimmt nur an der Erwärmung teil, gibt aber die aufgenommene Wärme ebenso wie die übrigen im Hochofen hochsteigenden Gase wieder an die entgegenrückende Beschickung ab. Der Stickstoff der Luft wirkt daher nicht so nachteilig auf den Hochofenprozeß wie man wohl vermuten könnte. Schädlicher ist jedoch der Einfluß des Wasserdampfs im Hochofen. Er erfordert erhöhten Aufwand an Brennstoff und bewirkt wegen der sehr verschiedenen Mengen, in denen er in der Luft enthalten sein kann, Unregelmäßigkeiten im Ofengang.

Während die Luft, die z. B. den Verbrennungsprozeß in einem Zimmerofen unterhalten soll, einfach durch die spezifisch leichtere, im Schornstein hochsteigende Luftsäule in den Ofen hineingezogen wird, muß die Luftmenge, die den über 20 m hohen, mit Stoffen dicht gefüllten Hochofen durchziehen soll und hierbei naturgemäß großen Widerstand findet, durch diesen hindurchgepreßt werden. Diese Arbeit geschieht durch die Gebläsemaschinen, die im Prinzip nichts anderes sind als mächtige doppeltwirkende Luftpumpen mit großen, an beiden Enden mit zahlreichen Ventilen versehenen, eisernen Zylindern. In diesen bewegt sich ein Kolben hin und her, der bei seinem Hingange auf der einen Seite durch die Ventile Luft in den Zylinder saugt und gleichzeitig die beim vorhergehenden Hube auf der anderen Seite eingesogene Luft zusammenpreßt und in die zum Hochhofen führende Rohrleitung drückt. Beim Rückgang findet der entsprechende Vorgang statt, so daß der Luftstrom ununterbrochen läuft. Man

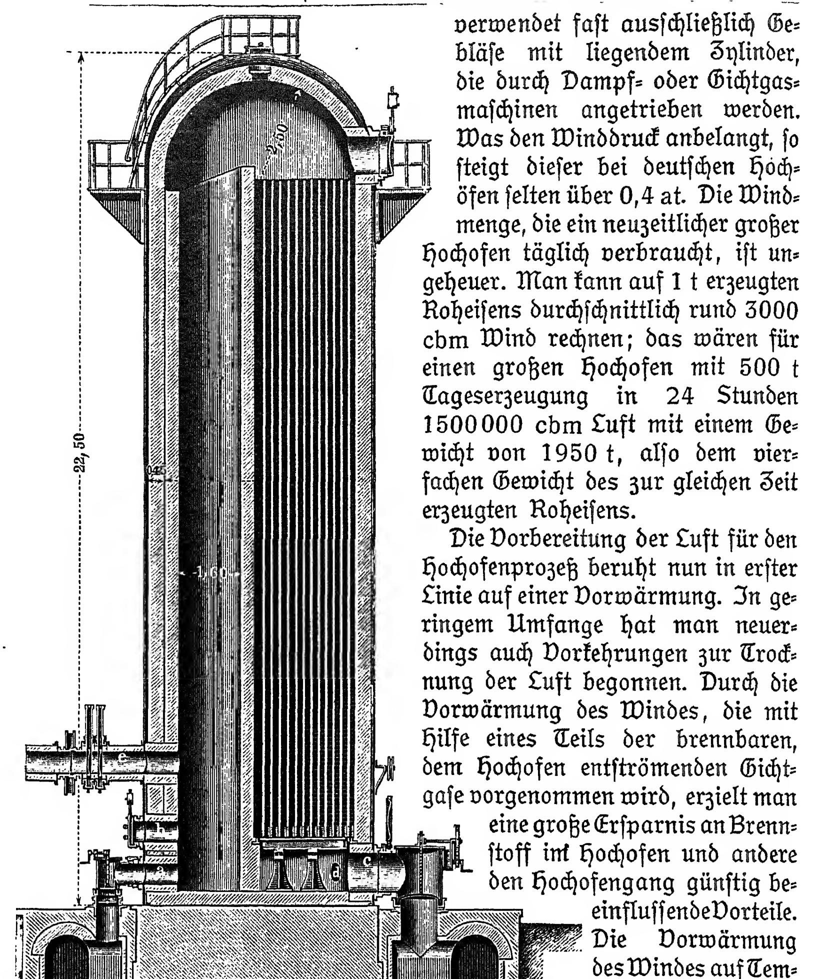


Abb. 1. Cowper-Winderhitzer (Vertikalschnitt).

verwendet fast ausschließlich Gebläse mit liegendem Zylinder, die durch Dampf- oder Gichtgasmaschinen angetrieben werden. Was den Winddruck anbelangt, so steigt dieser bei deutschen Hochöfen selten über 0,4 at. Die Windmenge, die ein neuzeitlicher großer Hochofen täglich verbraucht, ist ungeheuer. Man kann auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich rund 3000 cbm Wind rechnen; das wären für einen großen Hochofen mit 500 t Tageserzeugung in 24 Stunden 1500000 cbm Luft mit einem Gewicht von 1950 t, also dem vierfachen Gewicht des zur gleichen Zeit erzeugten Roheisens.

Die Vorbereitung der Luft für den Hochofenprozeß beruht nun in erster Linie auf einer Vorwärmung. In geringem Umfange hat man neuerdings auch Vorkehrungen zur Trocknung der Luft begonnen. Durch die Vorwärmung des Windes, die mit Hilfe eines Teils der brennbaren, dem Hochofen entströmenden Gichtgase vorgenommen wird, erzielt man eine große Ersparnis an Brennstoff im Hochofen und andere den Hochofengang günstig beeinflussende Vorteile. Die Vorwärmung des Windes auf Temperaturen von 600 bis 800° C erfolgt in den sog. Winderhitzern. Einen fast auf allen Eisenhüttenwerken gebräuchlichen Winderhitzer, den Cowper-Apparat, stellen die Abbildungen 1 und 2 im Vertikal- und

Horizontalschnitt dar. Der Apparat ist ein aus starken Eisenblechen zusammengesetzter Zylinder mit einem Durchmesser bis zu 6, ja sogar 8 m und mit einer Höhe bis zu 35 m. Er besteht aus dem kreisrunden oder elliptischen Verbrennungsschacht, einer Kuppel und dem Gitterwerk. Die Ausmauerung sowohl als auch das Gitterwerk sind aus feuerfesten Steinen aufgebaut. Das Gitterwerk ist so zusammengesetzt, daß es etwa 400—500 senkrecht verlaufende Röhren bildet, die einen runden, quadratischen, sechs- oder achteckigen Querschnitt haben.

Das vom Gichtstaub befreite Hochofengas läßt man in die Öffnung a (s. Abb. 1) einströmen. Dieses mischt sich mit der durch den geöffneten Schieber b eindringenden Luft und verbrennt in dem Schachte. In der Kuppel breitet sich das heiße Verbrennungsgas aus und streicht abwärts durch das Gitterwerk; dieses erhitzt es auf 800 bis 900° und geht, nachdem es seine Wärme an die Steine abgegeben hat, durch die Rauchkammer und die Öffnung c zum Schornstein. Nach einer gewissen Zeit, etwa 2 Stunden, werden Gasventil, Luftschieber und die Klappe zum Schornsteinkanal geschlossen und der Kaltwind- und Heißwindschieber geöffnet. Nun strömt der gepreßte kalte Gebläsewind bei d ein, erhitzt sich beim Hochsteigen im Gitterwerk an den heißen Steinen auf 600—900° und verläßt den Cowper-Apparat bei der Öffnung e, um durch große Rohre in den Hochofen geleitet zu werden. Ein Hochofen muß mindestens drei, besser vier oder mehr Winderhitzer besitzen, von denen zwei „auf Gas gehen", während der dritte „auf Wind geht" und der vierte gereinigt wird oder zur Reserve dient.

Die Vorbereitung der Luft durch Trocknung erfolgt noch vor der Erhitzung. Bei dem Gayley'schen Trocknungsverfahren wird die Luft auf bestimmte Temperaturen unter 0° abgekühlt, bei denen sie nur noch einen geringen, stets gleichmäßigen Gehalt an Wasserdampf aufgelöst halten kann (vgl. S. 53), während der größere Teil als Eis abgeschieden wird. Bei dem Verfahren von Daubiné und Roy wird der Wind durch Chlorkalzium geleitet, das begierig Wasser aufsaugt und schon lange im Laboratorium als Trockenmittel verwendet wird. Die beiden Windtrocknungsverfahren sind bisher erst vereinzelt praktisch erprobt und bedürfen noch weiterer technischer Vervollkommnung, um bei gün-

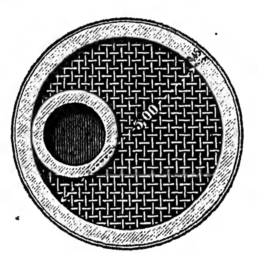


Abb. 2. Cowper-Winderhitzer (Horizontalschnitt).

stigen wirtschaftlichen Ergebnissen allseitige Anwendung finden zu können.

Der Hochofen. Der Hochofen ist, wie sein Name schon andeutet, ein besonders hoher Hüttenapparat. Er gehört zu jener Gattung von Öfen, die wegen ihres schachtähnlichen Profils kurzweg Schachtöfen genannt werden. Während andere Metallhochöfen das Profil eines regulären mathematischen Zylinders aufweisen, haben die meisten Eisenhochöfen ein Profil, wie es Abbildung 3 veranschaulicht. Man ersieht daraus, daß der eigentliche Hochofen aus drei Teilen besteht, dem Schacht a, der Rast b und dem Gestell c. Schacht und Rast bilden zwei abgestumpfte Kegel, die mit ihren größten Grundflächen aufeinander gesetzt sind; das sich unten anschließende Gestell ist ein Zylinder. Der Teil, welcher den oberen Abschluß des Hochofens bildet, heißt Gicht, die Ebene, in der Schacht und Rast zusammenstoßen, Kohlensack. Der Kohlensack ist bei vielen Hochöfen zu einem dem Gestell ähnlichen Zylinder ausgebildet. Der unterste Teil des Ofens, auf dem das Gestell ruht, wird Bodenstein (d) genannt. Der Schacht ruht auf einem Tragkranz, der von eisernen Säulen gestützt wird. Die Rast hängt meist am Tragkranz. Auf diese Weise sind Rast und Gestell vom Schacht und untereinander unabhängig. Man erreicht hierdurch eine vollständige Entlastung dieser Teile, so daß sie sich beliebig unter dem Einfluß der Wärme ausdehnen können, ohne einander in Mitleidenschaft zu ziehen. In seinem oberen Teile enthält das Gestell eine Anzahl von Öffnungen, durch welche die Windformen (e) in den Ofen führen. Die Windformen bestehen aus kegelförmigen, doppelwandigen Metallhülsen aus Bronze oder Kupfer, die wegen der hohen Temperaturen im Gestell von ständig hindurchströmendem kaltem Wasser gekühlt werden. Der heiße gepreßte Wind gelangt aus den Winderhitzern zunächst in ein großes mit feuerfestem Material ausgemauertes Rohr (o), das rings um den Ofen läuft. Von hier aus wird er mittels des sog. Düsenstocks (i), der in den einzelnen Düsen endigt, auf die Formen gleichmäßig verteilt und tritt dann durch letztere in den Ofen. Die Anzahl der Formen richtet sich im allgemeinen nach der Größe des Gestellumfangs und schwankt zwischen 4 und 16, selten mehr. Dicht unterhalb der Formenebene befinden sich eine oder mehrere Öffnungen (g) im Gestell, die dazu dienen, die Schlacke ununterbrochen abfließen zu lassen. Diese Öffnungen sind, um das Mauerwerk vor der glutflüssigen Schlacke zu schützen, stets mit der sog. Lürmannschen Schlackenform ausgesetzt, einer den Windformen ähnlichen, mit Wasser ge-

kühlten kupfernen Metallhülse. Unmittelbar über dem Bodenstein ist das Abstichloch (f) angebracht, durch welches das sich im Gestell ansammelnde Eisen von Zeit zu Zeit abgestochen wird.

Der ganze Hochofen ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und wird durch starke rings um den Ofen laufende schmiedeiserne Ringe zusammengehalten. Um das Ofenmauerwerk gegen physikalische und chemische Einflüsse möglichst widerstandsfähig zu machen, muß es ständig gekühlt werden. Der obere Teil des Ofenschachtes, in dem man nicht allzu hohe Temperaturen beobachtet, wird einfach durch die Außenluft gekühlt. Der untere Teil des Schachtes, Rast und Gestell hingegen, wo teilweise außerordentlich hohe Temperaturen herrschen, müssen mit großen

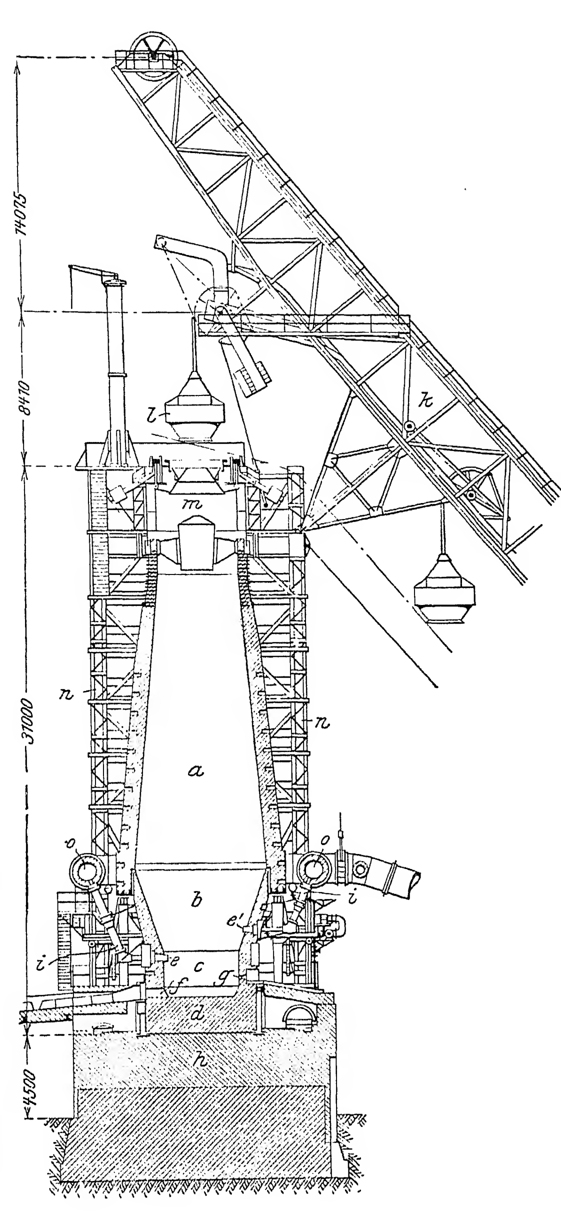


Abb. 3. Hochofen (Vertikalschnitt).

a Schacht, *b* Rast, *c* Gestell, *d* Bodenstein, *e* Windeintritt (Düsen und Form), *e'* Notwindform (nur bei Betriebsstörungen in Verwendung), *f* Stichloch (Roheisenabstich), *g* Schlackenform (Schlackenausfluß), *h* Fundamentmauerwerk, *i* Düsenstock, *k* Gichtaufzug (Schrägaufzug), *l* Förderkübel mit Beschickung, *m* Gichtverschluß, *n* Hochofengerüst, *o* Windleitung (Windkranz).

Mengen kalten Wassers gekühlt werden, das man an einem um diese Teile gelegten Blechmantel ununterbrochen herabrieseln oder durch bronzene Kühlkästen im Mauerwerk fließen läßt.

Die beim Hochofenprozeß sich bildenden Gase, welche man früher aus Unkenntnis mit mächtiger Flamme aus der Gicht in die Luft gehen ließ, fängt man heutzutage auf, um sie in wirtschaftlicher Weise zu verwerten. Zu diesem Zwecke ist der Hochofen oben durch einen sog. Gichtverschluß abgedeckt, und die Gase ziehen durch ein senkrecht in der Mitte des Verschlusses stehendes Rohr ab oder durch Rohre, die seitlich in den obersten Teilen des Schachtmauerwerks angebracht sind.

Da auf der Gicht die Beschickung in den Ofen gegeben wird, müssen die Gichtverschlüsse gleichzeitig als Aufgabe- und Verteilungsvorrichtungen für die Rohstoffe eingerichtet werden. Als solche dürfen sie die Gase auch dann nicht an die Außenluft entweichen lassen, wenn die Rohstoffe gerade in den Ofen eingebracht werden. Daher sind die Gichtverschlüsse stets als eine Art Schleuse ausgebaut, die durch einen oberen Gichtverschluß gegen die Außenluft und durch einen unteren gegen das Ofeninnere abgedichtet ist. Wenn der eine Verschluß zur Einführung der Rohstoffe geöffnet ist, muß der andere gleichzeitig geschlossen sein. Es gibt naturgemäß zahlreiche verschiedene Ausführungen von doppelten Gichtverschlüssen. Bei dem in Abbildung 3 dargestellten Hochofen, der mit der sog. automatischen Kübelbegichtung versehen ist, besteht der Gichtverschluß aus einem kreisförmigen Trichter, gegen den von unten durch Gewichte mittels Hebelübertragung ein kegelförmiger Verschluß gedrückt wird. Setzt sich der Kübel nun auf die Gicht, so senkt sich der lose Kübelboden, die im Kübel befindlichen Rohstoffe drücken den Kegel herunter und gleiten in den Ofen herab. Nennenswerte Gasverluste können dabei nicht entstehen, weil der Kübel durch einen Deckel verschlossen ist.

Das unterhalb des Gichtverschlusses inmitten des Hochofens sichtbare Rohr sorgt für eine gleichmäßige Verteilung der Stoffe im Ofeninnern.

Um nun die ungeheuren Massen an Rohstoffen, die ein neuzeitlicher Hochofen täglich verschluckt, zur Gicht zu schaffen, sind mächtige Transportanlagen notwendig. Bei älteren Anlagen benutzte man meist senkrechte, durch Dampfmaschinen angetriebene Aufzüge, welche die Beschickung in kleinen Wagen bis zur Gichtbühne — d. i. die Plattform in Höhe der Gicht — emporziehen. Hier werden diese Wagen dann von einzelnen Leuten vom Aufzug heruntergezogen, an den Gichttrichter gefahren und dann durch Kippen ihres Inhaltes entleert.

Bei neueren Anlagen werden die Wagen oft als Hängewagen an Schrägaufzügen mittels eines stetig laufenden Zugseiles hochgezogen und auf der Gichtbühne ebenfalls durch Zugseil oder durch Elektromotoren an jedem einzelnen Wagen (Elektrohängebahn) zum Gichtverschluß befördert und dort von Hand in den Gichttrichter entleert.

Will man das gesamte Bedienungspersonal auf der Gichtbühne ersparen, so macht man, wie bei dem Hochofen in Abb. 3, vorteilhaft von der erwähnten automatischen Begichtung Gebrauch, bei der die in der Abbildung sichtbaren großen Kübel mit einem Erzinhalt bis zu 10 t und darüber unten auf der Hüttensohle gefüllt, durch eine untenstehende elektrische Fördermaschine an Schrägaufzügen bis über den Gichttrichter gehoben und dann in diesen durch Kippen oder Öffnen des Kübelbodens entleert werden. Die ganze Begichtung geschieht hierbei durch den einen die Fördermaschine bedienenden Maschinisten. In Abbildung 3 ist nur der obere Teil des Schrägaufzugs mit den daran hängenden Kübeln zu sehen.

Der Hochofenprozeß. Beim Hochofenprozeß können wir einen absteigenden Strom fester und einen aufsteigenden Strom gasförmiger Stoffe im Ofen unterscheiden. An dem absteigenden Strome fester Stoffe sind die Erze und sonstigen eisenhaltigen Rohstoffe, ferner die Zuschläge und der Koks beteiligt, die sämtlich durch den Gichtverschluß vermittels der obenerwähnten Transportvorrichtungen dem Hochofen zugeführt werden.

Das Erz nebst Zuschlägen, der Möller, wird abwechselnd mit Koks in den Hochofen gegeben. Die auf einmal in den Ofen gefüllte Menge an Erz und Zuschlägen nennt man eine Erzgicht, während die darauf folgende Koksmenge eine Koksgicht genannt wird. Bei großen Öfen beträgt eine Erzgicht bis zu 15000 kg, eine Koksgicht bis zu 7000 kg. Das Mengenverhältnis zwischen Erzzuschlag und Koks wird an der Hand theoretischer Berechnungen und auf Grund praktischer Erfahrungen festgestellt. In dem Maße wie in den untersten Zonen des Ofens der Möller schmilzt und der Koks verbrennt, rückt die gesamte Beschickung von obenher nach. Welche Veränderungen die festen Stoffe dabei erleiden, werden wir weiter unten noch erfahren, wir wollen hier zunächst den aufsteigenden Strom gasförmiger Stoffe in seinem Laufe durch den Hochofen verfolgen.

Die vorgewärmte Luft stößt vor den Düsen in der Formebene unmittelbar auf den glühenden Koks. Dabei verbrennt der Koks, d. h. der Sauerstoff der Luft verbindet sich mit dem Kohlenstoff des Koks zu Kohlenoxyd nach der Gleichung:

$$C + O = CO.$$

Trotz der reichlichen Luftzufuhr findet hier im Gestell des Hochofens also nur eine unvollkommene Verbrennung zu CO statt und nicht eine solche zu CO_2 (vgl. Seite 17). Dies liegt daran, daß Kohlensäure bei solch hohen Temperaturen (1600° und darüber), wie sie hier durch Verbrennung des Koks gebildet werden, nicht bestehen kann. Sie würde bei diesen Temperaturen bis hinab zu 1000° nach der umkehrbaren Gleichung:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$$

in ihrer gesamten Menge sofort wieder zu CO reduziert werden. Die ganze Stickstoffmenge (79%) der Luft geht fast unverändert durch den Hochofen hindurch, nimmt aber an der starken Erwärmung im Gestell mit teil und gibt beim Aufsteigen bis zur Gicht ebenso wie die anderen Gase den hohen im Gestell empfangenen Wärmeinhalt an die entgegenrückende Beschickung ab. Die Gase verlassen den Hochofen an der Gicht mit etwa 150—250° C.

Während des Aufsteigens im Hochofen entreißt das Kohlenoxyd den oxydischen Erzen, die im unteren Teil des Ofens aus Eisenoxydul FeO bestehen, bei Temperaturen unterhalb 1000° bis herab zu 700° den Sauerstoff unter Bildung von CO_2 nach der Gleichung:

$$FeO + CO \rightleftarrows FeO + CO_2,$$

ein Vorgang, der bereits auf Seite 18 erörtert ist. Bei Temperaturen um 600° herum erfolgt nach der Gleichung:

$$Fe_3O_4 + CO \rightleftarrows 3FeO + CO_2$$

die Reduktion des Eisenoxyduloxyds zu Eisenoxydul und bei etwa 300—400° diejenige von Eisenoxyd zu Eisenoxydul nach der Gleichung:

$$3Fe_2O_3 + CO \rightleftarrows 2Fe_3O_4 + CO_2.$$

Bei allen diesen Reduktionsvorgängen bildet sich also CO_2, sodaß der Gasstrom, je höher er im Ofen steigt sich destomehr an diesem Gase anreichert. Unterhalb 1000° bis hinab zu 500° wird zwar immer noch ein Teil der Kohlensäure nach der bereits obengenannten umkehrbaren Gleichung:

$$CO_2 + C \rightleftarrows 2CO$$

zu Kohlenoxyd zurückverwandelt, aber mit sinkender Temperatur in immer geringerem Maße, bis von 400° abwärts diese Rückver-

ndelung überhaupt nicht mehr stattfindet. Von hier ab spielt sich Vorgang in der Gleichung sogar umgekehrt von der rechten nach linken Seite ab, indem sich nämlich ein Teil des Kohlenoxyds in hlenstoff und Kohlensäure verwandelt. Der auf diese Weise gebil- e Kohlenstoff setzt sich in die Poren des Erzes und hat, wie wir ten noch erfahren werden, ebenfalls Anteil an der Reduktion.

Die Vorgänge im Hochofen bewirken also, daß der aufsteigende ısstrom sich immer mehr mit Kohlensäure anreichert, je höher er igt. Nach Seite 19 muß jedoch der die Gicht verlassende Gasstrom ts auch einen beträchtlichen Kohlenoxydgehalt aufweisen, sonst irden sämtliche Reduktionsvorgänge nicht von links nach rechts in n obigen Gleichungen verlaufen können, sondern es würde Gleich- wicht eintreten.

Betrachten wir jetzt den absteigenden Strom der festen Stoffe im fen und fassen wir hierbei gleichzeitig die bisherigen Ergebnisse rz zusammen, so erhalten wir folgendes Bild vom Hochofenpro- z. Im obersten Teile des Schachtes in der sog. Vorbereitungs- ne wird zunächst bei etwa 250—300^0 der Wassergehalt des Er- s verdampft, bei etwa 300—400^0 beginnt dann die Ablagerung s aus dem Kohlenoxyd abgeschiedenen Kohlenstoffs in den Poren n Erzes. Von etwa 400^0 an setzt die Reduktion des Eisenoxyds e_2O_3 in die nächstniedrigere Oxydationsstufe Fe_3O_4 ein. Bei 600^0 ginnt in der eigentlichen Reduktionszone, die etwa die zwei ıteren Drittel des Schachts und die obere Hälfte der Rast umfaßt, e Reduktion von Fe_3O_4 zu FeO und bei 700^0 diejenige von FeO ı metallischem Eisen Fe. Die Reduktion wird in allen diesen Fällen ıterhalb 1000^0 in erster Linie durch das Kohlenoxyd CO bewirkt ndirekte Reduktion), bei Temperaturen oberhalb 1000^0 aber, bei enen die Kohlensäure, wie gesagt, nicht bestehen kann, erfolgt die eduktion des Eisenoxyduls nur durch den festen Kohlenstoff des lühenden Koks oder durch den Kohlenstoff, der bei den niedrigeren emperaturen durch Spaltung des Kohlenoxyds sich in den Poren es Erzes abgelagert hat. Diese direkte Reduktion geht nach der Glei- ɩung vor sich:

$$FeO + C = Fe + CO.$$

)as in der Reduktionszone durch indirekte und direkte Reduktion ntstandene schwammartige Eisen wird in der unteren Hälfte der Rast in der sog. Kohlungszone durch das Kohlenoxyd gekohlt, . h. es nimmt den aus dem Kohlenoxyd stammenden Kohlenstoff

in sich auf. Dicht oberhalb der Formen in der sog. Schmelzzone schmilzt dann das gekohlte schwammige Eisen sowie die Schlacke. Beide tropfen in den unteren Teil des Gestells hinab, wo sich die Schlacke wegen ihres geringeren spezifischen Gewichts auf dem Eisen ansammelt.

Bedeutend schwerer als das Eisen werden Mangan, Phosphor und Silizium aus ihren Oxyden reduziert. Bei diesen erfolgt die Reduktion und Überführung in das Eisenmetall in der Hauptsache erst dann, wenn der letzte Rest des Eisens durch den festen Kokskohlenstoff reduziert ist, also erst bei den hohen Temperaturen im unteren Teil der Rast und im Gestell. Vom Mangan werden nur drei Viertel des Gehalts in den Erzen reduziert, während der Phosphor ganz und das Silizium je nach der Zusammensetzung des Möllers und der aufgegebenen Koksmenge meist nur in verhältnismäßig geringen Mengen reduziert wird. Der so gefährliche Schwefel wird zum Teil an den Kalk und das Mangan der Schlacke gebunden, sodaß man meist dem Erze mehr Kalk zuschlägt als dem niedrigsten Schmelzpunkt der Schlacke entsprechen würde. Trotzdem löst sich ein Teil des Schwefels immer noch als Schwefeleisen im Roheisen auf. Kupfer geht ganz ins Eisen, Blei sammelt sich wegen seines größeren spezifischen Gewichts und seiner Unlöslichkeit im Eisen unter demselben im Gestell an. Zink verdampft und bildet dann als Oxyd an den Ofenwänden unterhalb der Gicht den sog. Zinkschwamm.

Sein Hauptaugenmerk muß der Hochofenleiter darauf richten, daß der Hochofengang keine störenden Unregelmäßigkeiten aufweist. Solche sind wegen der langen Durchsetzzeit[1]) der Beschickung oft erst an dem veränderten Aussehen der Schlacke spät nach ihrer Entstehung bemerkbar und sind dann nicht so schnell zu beseitigen. Betriebsstörungen können durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden. Zu schwere Erzsätze (zuviel Erz im Verhältnis zu Zuschlag und Koks), falsche Möllerung, zu schnelles oder ungleichmäßiges Aufgeben der Gichten, Durchbruch von Kühlwasser, schlechte Beschaffenheit des Brennstoffs oder Erzes (Feinerz und damit verbundenes Hängenbleiben der Gichten) u. dergl. können dazu beitragen. Man erhält dann leicht statt einer hellfarbigen Schlacke eine dunkle, aus der noch nicht alles Eisen reduziert ist; man spricht dann von einem Rohgang des Hochofens im Gegensatz zum regelmäßigen Gargang. Um jenen äußerst

1) Unter Durchsetzzeit versteht man diejenige Zeit, die die Beschickung zu ihrer Reise durch den Hochofen gebraucht, sie schwankt zwischen 9 und 30 Stunden, im Durchschnitt beträgt sie 22 Stunden.

unangenehmen Krankheitszustand des Hochofens zu beseitigen, ist es meist angebracht, ihm leichtere Kost zu geben, d. h. den Ersatz zu verringern; auch tut ihm in solchem Falle oft größere Wärme gut, die durch Erhöhung des Koksatzes und der Windtemperatur erzielt werden kann. Auch sonstige Vorgänge, wie Durchbruch des Eisens durch das Gestell, Explosionen im Ofeninnern u. dergl. können oft erhebliche Nachteile im Gefolge haben, wie erst das vor kurzem erfolgte schwere Unglück auf der Hütte Phönix in Ruhrort bewiesen hat.

Hat sich genügend Eisen und Schlacke im Gestell angesammelt, so fließt die Schlacke aus der Schlackenöffnung ununterbrochen so lange heraus, bis das Eisen die Höhe derselben erreicht hat, dann wird das Eisen *abgestochen*, d. h. man öffnet mit großen eisernen Stangen das unten im Gestell befindliche Abstichloch, das durch eine feuerfeste Masse verschlossen war. Nun rinnt das Eisen im glühenden Strome aus dem Hochofen heraus. Will man es gleich im flüssigen Zustande auf schmiedbares Eisen weiterverarbeiten, so wird es unmittelbar in große fahrbare Pfannen geleitet und in diesen zum Stahlwerk gebracht, andernfalls läßt man es in die sogen. *Masselbetten* laufen, das sind vielverzweigte, in Sand gegrabene flache Vertiefungen, in denen es zu Masseln erstarrt und dann erst später weiterverarbeitet wird.

Roheisendarstellung im elektrischen Hochofen. Die Darstellung des Roheisens im elektrischen Hochofen ist im größeren Maßstabe naturgemäß nur in solchen eisenreichen Gegenden durchzuführen, wo elektrische Energie durch Wasserkräfte billig zu erzeugen und guter Hochofenkoks zu angemessenen Preisen nicht zu erlangen ist. In kleinerem Maßstabe würde sich das Verfahren nach weiterer Vervollkommnung vielleicht auch sonst zur Darstellung von Spezialroheisensorten halten können, von denen eine besonders große Reinheit verlangt wird. Bisher hat man in Schweden (Domnarfvet) mit elektrischen Hochöfen, die naturgemäß jetzt noch im Anfangsstadium eine bedeutend geringere Höhe als unsere Kokshochöfen haben (Schachthöhe 5,2 m) recht günstige Betriebsergebnisse erzielt, so daß bereits eine neue größere Anlage mit dreifacher Leistungsfähigkeit am Trolhättan und in Odda gebaut worden ist.

Der knappe Raum verbietet, hier näher auf die elektrische Roheisengewinnung einzugehen; nur einige Bemerkungen seien dazu noch gemacht. Während beim Kokshochofen die zur Reduktion und Schmelzung nötige Wärmemenge durch chemische Umsetzung (Verbrennung) entsteht, wird beim elektrischen Hochofen diese Wärme durch die auf

S. 21 besprochene elektrische Lichtbogenheizung erzeugt. Bei der elektrischen Roheisendarstellung fällt also der Koks zur Wärmeerzeugung fort, das wären etwa $^2/_3$ der gesamten im Kokshochofen erforderlichen Koksmenge, und es ist nur noch $^1/_3$ zur Reduktion notwendig. Durch den hier fortfallenden Verbrennungsprozeß kann man sich natürlich die Luftzufuhr ersparen, und die kostspieligen Gebläse und Winderhitzungsanlagen sind somit überflüssig.

Die Erzeugnisse des Hochofenprozesses und ihre Verwendung.

Das Roheisen. Von jeder Roheisengattung wird eine bestimmte, in gewissen Grenzen schwankende, dem Verwendungszweck entsprechende Zusammensetzung gefordert. So verlangt man z. B. in manchen Fällen ein weiches siliziumreiches, in anderen ein dünnflüssiges phosphorreiches, in wieder anderen ein hartes manganreiches Gießereiroheisen usw. Für den Bessemerprozeß gebraucht man ein hochsiliziertes, sehr phosphorarmes, für das Thomasverfahren ein sehr phosphorreiches, für den Martinprozeß meist ein kohlenstoff- und manganreiches Roheisen usw. Natürlich kann man nicht mit jedem Erz jedes beliebige Roheisen erzielen. Jedem Erze entspricht vielmehr ein bestimmtes Roheisen als das natürlichste. Trotzdem kann man aber durch die Menge des Zuschlages und des Koks, ferner durch die Windtemperatur und -pressung in weitgehendster Weise die Zusammensetzung des aus ein und demselben Erze stammenden Roheisen beeinflussen. Einen allgemeinen Überblick über die wichtigsten Roheisengattungen bzw. die besonderen Legierungen mit Roheisencharakter und Beispiele ihrer Zusammensetzung gibt die folgende Zusammenstellung:

Roheisengattung	Zusammensetzung in Gewichtsprozenten			
	C	Si	Mn	P
Gießereiroheisen (für verschiedene Zwecke	3—4	0,5—3	0,3—1,3	0,85—1,7
Puddelroheisen	3,3—3,8	0,2—1,5	0,3—5	0,1—2
Bessemerroheisen	3,5—4,5	0,6—2	1—5	0,1
Thomasroheisen	3—3,5	0,2—1,0	0,5—2	1,7—2,5
Stahleisen (Martinroheisen)	3,5—4	0,3—1,5	1—6	0,08—0,3
Spiegeleisen	4—5	0,3—1,3	10—20	0,06—0,1
Ferromangan	5—7,5	0,5—1,5	20—80	0,1—0,3
Ferrosilizium	0,8—1,6	10—17	1—1,5	0,1
Silicospiegel	1—1,5	12—14	19—23	0,1—0,2

Die Schlacke. Als zweites Hochofenprodukt erhalten wir die Schlacke. Diese ist von jeher das Schmerzenskind des Eisenhüttenmanns gewesen, denn sie bringt ihm oft nicht nur nichts ein, sondern kostet ihm meist große Summen zur Fortbeförderung und Lagerung. Wenn man bedenkt, daß auf 1 t erzeugten Roheisens durchschnittlich ebensoviel Schlacke kommt, daß diese aber etwa den dreifachen Raum einnimmt, so kann man sich berechnen, welch große Schlackenberge, Halden genannt, sich allein im Laufe eines Jahres auf einem Hochofenwerk ansammeln müssen. Gerade aber in den Industrierevieren ist der Grund und Boden besonders wertvoll und unter Umständen überhaupt nicht mehr zu erwerben, weil er schon anderweitig bebaut ist. Daher war es von jeher das Bestreben des Eisenhüttenmanns, die Schlacke irgendwie zu verwerten. Zum Teil sind diese Bemühungen auch von Erfolg gekrönt worden.

Man läßt heutzutage die glutflüssige Schlacke aus dem Hochofen entweder in eiserne Töpfe fließen, läßt sie in diesen erstarren und kippt die einzelnen Klötze auf die Halde, oder aber, man körnt (granuliert) sie, d. h. man bringt sie einfach in bewegtes Wasser, wobei sie in einen feinkörnigen Sand zerfällt. Die erstarrte Klotzschlacke kann, nachdem sie durch Zerkleinerungsmaschinen in beliebig große Stücke gebrochen ist, sehr gut als Schottermaterial für Straßen- und Dammbauten verwendet werden. Ist die Schlacke nicht allzureich an Kalk und Tonerde und läßt man sie möglichst langsam in Pfannenwagen mit großem Rauminhalt abkühlen, so kann sie annähernd die Festigkeit eines Basaltgesteins erlangen. Die gekörnte Schlacke läßt sich in sandarmen Gegenden als Schüttmaterial für Fußwege und Eisenbahndämme verwenden, ferner als Bergeversatz, d. h. als Füllmaterial der Hohlräume, die nach der bergmännischen Gewinnung von Mineralien in der Erdrinde zurückbleiben, dann als Füllstoff zur Betonbereitung, zur Herstellung von Bausteinen usw.

Von größter Bedeutung ist die Schlackenverwendung zur Zementbereitung. Man kann die aus Eisenhochofenschlacke gegenwärtig erzeugten Zemente in vier Gruppen einteilen: Portlandzement, Hochofenzemente, Eisenportlandzement, Schlacken- oder Puzzolanzement. An der Zusammensetzung dieser Zemente nehmen in erster Linie die drei Oxyde: Kalk (CaO), Kieselsäure (SiO_2) und Tonerde (Al_2O_3) teil. Portlandzement[1]) wird dadurch hergestellt, daß man aus Kalk

1) Der Portlandzement wird meist nur aus natürlichen Rohstoffen hergestellt, nämlich aus einem Gemisch von Kalkstein mit Ton.

und Hochofenschlacke im geeigneten Mischungsverhältnis Klinker erbrennt, die dann feingemahlen werden. Die Hochofenzemente bestehen hauptsächlich aus gemahlener, rasch gekühlter glasiger Schlacke mit geringem Zusatz von gemahlenen Portlandzementklinkern. Der Eisenportlandzement wird hergestellt durch Vermahlen von 70 % Portlandzementklinkern mit 30 % granulierter glasiger Schlacke. Die Fabrikation der Schlacken oder Puzzolanzemente schließlich beruht auf inniger Vermischung feingemahlener basischer Hochofenschlacke mit pulverförmigem Kalkhydrat.

Gichtgase. Das dritte Erzeugnis des Hochofens, die Gichtgase, deren Zusammensetzung wir bereits auf Seite 43 kennen gelernt haben, werden zu den verschiedensten Zwecken verwendet. Früher ließ man sie achtlos in die Luft entweichen und vergeudete dadurch viele Millionen. Wenn die Gichtgase auch verhältnismäßig arm an brennbaren Bestandteilen sind und daher nur eine geringe Wärmemenge liefern (durchschnittlich 800 W.-E. pro cbm), so muß man doch die außerordentlich große Menge in Betracht ziehen, die täglich von einem Hochofen geliefert wird. Auf eine Tonne Roheisen kommen im Durchschnitt etwa 4500 cbm Gichtgas, das wären bei einem einzigen großen Hochofen von 400 t Tagesleistung in 24 Stunden allein schon 1 800 000 cbm Gichtgas. Würde man diese nicht auffangen und verwenden, so würde man also bei einem solchen Hochofen am Tage durchschnittlich 1440 Millionen W.-E. zwecklos in die Luft jagen.

Die Gichtgase werden zu Heizzwecken und zu motorischen Zwecken verwendet. Im ersten Falle dienen sie vornehmlich zur Heizung der Winderhitzer, ferner auch zur Heizung von Trockenöfen, Koksöfen, Martinöfen u. a.; im zweiten Falle werden sie zur Dampferzeugung oder direkt zum Antrieb von Gasmaschinen verwendet.

Die Gichtgase enthalten, wenn sie dem Hochofen entströmen, eine so große Menge Erzstaub, daß sie ohne weiteres überhaupt nicht verwendbar wären. Die Hauptmenge des schweren eisenreichen Staubes wird daher zunächst dadurch entfernt, daß man dem Gase durch die Lage der Leitung eine mehrfache Richtungsänderung gibt und durch Anlegen von Staubsammlern mit großem Querschnitt seine Geschwindigkeit verlangsamt. Dann wird es oft noch durch sogen. Skrubber geleitet, große Behälter, in denen von obenher dem aufsteigenden Gase Wasser entgegenrieselt. Wenn das Gas aus diesen Skrubbern austritt, enthält es immer noch 0,7 bis 1,5 g Staub pro cbm. Um auch diesen noch zum größten Teile zu entfernen, besonders wenn

es sich um Verwendung in Gasmaschinen handelt, leitet man das Gas meist noch durch Zentrifugalreiniger (System Zschocke, Theisen, Bian u. a.), in denen die Entfernung des Staubes, der durch fein verspritztes Wasser in dem Apparat befeuchtet und beschwert wird, durch die Fliehkraft vor sich geht. Die Staubmenge kann auf diese Weise auf 0,025 bis 0,001 g pro cbm vermindert werden. Um den bei der Wasserreinigung aufgenommenen Wassergehalt wieder zu entfernen, muß das Gas schließlich noch durch Filter aus Holzwolle, Koks, Sägemehl u. dergl. gehen.

Von dem erhaltenen Gichtgas verbraucht man für die Winderhitzer 35—40 %, weitere 5 % kommen für Leitungsverluste und Unregelmäßigkeiten in Anrechnung, sodaß noch 55—65 % für sonstige Zwecke zur Verwendung stehen. Von diesen benötigt der Hochofenbetrieb für sich zum Antrieb aller dazu gehörigen Maschinen u. dergl. etwa 25 bis 30 %, sodaß 25—40 % für Zwecke außerhalb des Hochofenwerks übrigbleiben.

IX. Kapitel.

Die Darstellung des schmiedbaren Eisens.

A. Die Darstellung des schmiedbaren Eisens aus Roheisen.

1. Die Darstellung des Schweißeisens: Das Puddelverfahren.

Das Schweißeisen wird durch das Puddelverfahren dargestellt. Dieses beruht auf einem Einschmelzen des Roheisens im Puddelofen und einem Oxydieren der im Roheisen enthaltenen fremden Bestandteile durch Einrühren von sauerstoffreichen Schlacken und Luft. Die oxydierten Bestandteile gehen entweder in die Schlacke über oder entweichen als Gase. Da die Temperatur im Ofen nicht hoch genug ist, um das entstehende schmiedbare Eisen zu schmelzen, so erzielt man nur ein teigförmiges Endprodukt, das von Schlacke durchsetzt ist.

Der Puddelofen. In dem zur Gattung der Flammöfen gehörigen Puddelofen kommt das Eisen nur mit der Flamme des Brennstoffs, nicht aber mit diesem selbst wie bei dem alten Herdfrischverfahren (s. Kap. I) in Berührung. Einen Puddelofen in seiner einfachsten Ausführung stellen die Abb. 4 und 5 im Längsschnitt dar. Er besteht aus drei Hauptteilen: der Feuerung mit dem Rost r und dem Schürloch s, dem Arbeitsherd a mit der großen Einsatztür g

und der kleinen Arbeitsöffnung *h* und endlich dem Fuchs *f*. Der Herd *a* wird von der Feuerung durch die Feuerbrücke *b*, vom Fuchs durch die Fuchsbrücke *c* getrennt. Der muldenförmige Herd setzt sich aus einer eisernen Sohlplatte und einem darauf ruhenden von Kühlwasser durchflossenen eisernen Rahmen *k* zusammen. Die

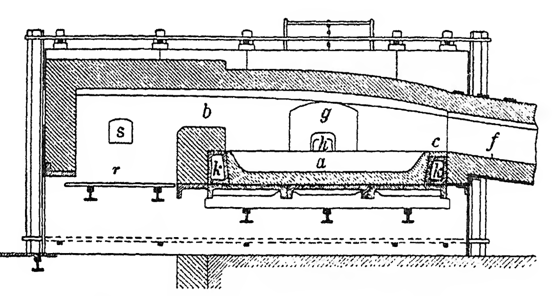


Abb. 4. Einfacher Puddelofen (Längsaufriß).

Ausfütterung des Herdes besteht aus schwer schmelzbaren eisenoxydreichen Schlacken, die die Sohle und Wände des Herdes vor den nachteiligen Einwirkungen des Eisenbades schützen. Die Ofenwandungen und das sie bedeckende Gewölbe bestehen aus feuerfesten Steinen. Als Brennstoff dient vielfach Steinkohle, die auf horizontalem Rost verbrannt wird, doch können auch Braunkohle und andere Brennstoffe verwendet werden. Die heißen Feuergase streichen über den

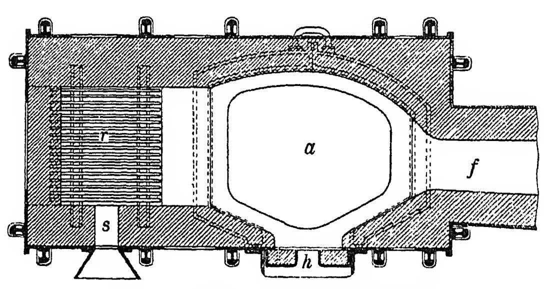


Abb. 5. Einfacher Puddelofen (Grundriß).

Arbeitsherd und werden durch den Fuchs und die (in der Abbildung nicht mitgezeichnete) Esse abgesogen, nachdem sie zunächst noch einen Dampfkessel geheizt haben.

Die Arbeitsweise. Zuerst wird das Roheisen, bei einem einfachen Ofen etwa 350 kg, durch die große Einsatztür in den Ofen gebracht, in dem meist noch ein Rest Schlacke von dem letzten Einsatz zurückgeblieben ist. Nach etwa 20 Minuten fängt das Eisen an, durch die heiße Flamme des Brennstoffs zu schmelzen. Schon hierbei beginnt der mit den Brenngasen eingeführte Sauerstoff der Luft und des in der Schlacke enthaltenen Eisenoxyds auf das Bad einzuwirken und

bildet vornehmlich durch Verbindung mit dem Silizium neue Schlackenmengen. Diese bedecken das Eisen, und der Puddler hat nun dafür zu sorgen, daß der Sauerstoff der Luft und der der Schlacke weiterhin in Berührung mit allen Teilen des Eisenbades kommt. Er fährt zu diesem Zwecke mit der Kratze, einer langen eisernen Stange, die an ihrer Spitze hakenförmig gekrümmt ist, durch die kleine Arbeitsöffnung *h* und durchpflügt gleichsam mit diesem Werkzeug durch Hin- und Herziehen das ganze Bad. Hierbei dringt der Luftsauerstoff ein und tut, unterstützt von dem Sauerstoff der eisenoxydhaltigen Schlacke, nach wie vor seine Schuldigkeit, indem er die fremden Beimengungen des Eisens oxydiert.

Zuerst kommt das noch vorhandene Silizium an die Reihe, dann folgt Mangan und leider auch ein Teil des Eisens, ferner Phosphor. Sie alle gehen als Oxyde in die Schlacke. Schließlich beendet der Kohlenstoff die Reihe, aber er geht nicht in die Schlacke über, sondern bildet Kohlenoxydgas, das aus dem Bade heraussteigt und mit blauen Flämmchen verbrennt. Das Gas tritt immer reichlicher auf, entwickelt bei der Entstehung Wärme und bringt das ganze Bad zum Wallen; dieses fängt an aufzuschäumen und ein Teil der Schlacke fließt über die Arbeitsöffnung hinaus. Je länger der Puddler seine Tätigkeit fortsetzt, desto anstrengender wird sie, denn das Eisen beginnt bald zu kristallisieren. Wenn der Puddler jetzt mit seiner Kratze hindurchfährt, knirscht es, als ob man über hartgefrornen Schnee fährt. Worauf beruht nun dieses Erstarren? Die erhitzende Flamme streicht doch nach wie vor über den Herd! Man erinnere sich nur des auf S. 27 Gesagten: Je geringer der Kohlenstoffgehalt des Eisens, desto höher seine Schmelztemperatur. Der Kohlenstoff ist nun in diesem Fall durch die Oxydation bis auf eine geringe Menge herausgebracht, die Flammentemperatur aber ist sich gleich geblieben, sie erreicht nicht mehr die Schmelztemperatur des Eisens, das Metall muß daher zu erstarren beginnen.

Das Roheisen ist nun zwar in schmiedbares Eisen verwandelt, aber noch ist es nicht gleichmäßig genug entkohlt, einzelne Teile des Eisenbades sind mehr, andere weniger von der Oxydationswirkung betroffen worden. Der Puddler nimmt daher eine spitze Brechstange und arbeitet damit das ganze Eisenbad durch. Er bringt dabei die unteren Teile nach oben, teilt größere Haufen auseinander und erreicht durch dieses Umsetzen, daß der Sauerstoff auch an die Stellen dringt, an die er vorher nicht in hinreichender Menge gelangte. Gleichzeitig teilt er die ganze Eisenmenge in 4—6 Klumpen und

schiebt diese zur Fuchsbrücke. Darauf beginnt er mit dem Luppenmachen. Er drückt mit dem Brecheisen die einzelnen Klumpen zusammen und formt sie durch Hin- und Herrollen auf dem Herde zu kugeligen Luppen. Hierbei fließt noch ein großer Teil der Schlacke aus dem Eisenklumpen heraus und die im Herde vorhandenen Eisenreste schweißen mit den Luppen zusammen. Noch einmal wird bei geschlossenen Türen tüchtig Feuer gemacht, um weitere Schlackenmengen in der Luppe zu verflüssigen, dann werden die Luppen aus dem Ofen geholt und unter einen kleinen Dampfhammer gebracht. Durch das Hämmern wird das schwammige Eisen verdichtet und viel eingeschlossene Schlacke ausgepreßt. Anschließend hieran geht noch in derselben Hitze die Weiterverarbeitung durch Schmieden oder Walzen vor sich.

Das Puddelverfahren ist seit Jahren ständig im Rückgange begriffen und ist jetzt nur noch zur Herstellung von Spezialeisensorten in Anwendung. Der Grund hierfür liegt darin, daß das Puddeleisen nur in kleinen Mengen und durch anstrengende, mit hohen Kosten verbundene menschliche Arbeit gewonnen werden kann, ferner darin, daß es wegen seines Schlackengehaltes keine allzugroße Festigkeit besitzt und daher für viele Zwecke nicht geeignet ist. Einige hervorragende Eigenschaften des Schweißeisens haben jedoch das Puddelverfahren bisher lebensfähig gehalten, dazu gehören u. a. seine vorzügliche Schweißbarkeit und Schmiedbarkeit. Der Kunstschlosser, der schmiedeeiserne Tore, Geländer und ähnliche Ziergegenstände herstellt, wird es daher gern verwerten, denn hierfür kommt es auf die genannten Eigenschaften mehr an als auf Festigkeit.

2. Die Darstellung des Flußeisens.

Das Bessemer- und das Thomasverfahren (Windfrischen).

Das Bessemerverfahren. Im Jahre 1856 verkündete der Engländer Henry Bessemer den staunenden Eisenhüttenleuten, daß er ein neues Verfahren erfunden habe, das ermögliche, geschmolzenes Roheisen mittels Durchblasen von Luft ohne Anwendung von Brennstoffen in schmiedbares Eisen umzuwandeln. Zwar vergingen noch einige Jahre, bis es gelang, durch das Verfahren ein wirklich brauchbares schmiedbares Eisen herzustellen, aber durch seine zähe Energie und den Enthusiasmus, mit dem er sich seiner Aufgabe widmete, gelang es dem geistreichen Erfinder, unterstützt durch kundige Fach-

leute, das Verfahren ständig zu vervollkommen. Heute steht es fest, daß Bessemer durch seine Erfindung zu einer neuen Ära des Eisenhüttenwesens, der Ära der billigen Massenerzeugung, den Grundstein gelegt hat.

Die Bessemerbirne. Das Bessemerverfahren geht noch heute in einem Apparat vor sich, wie ihn in ganz ähnlicher Ausführung

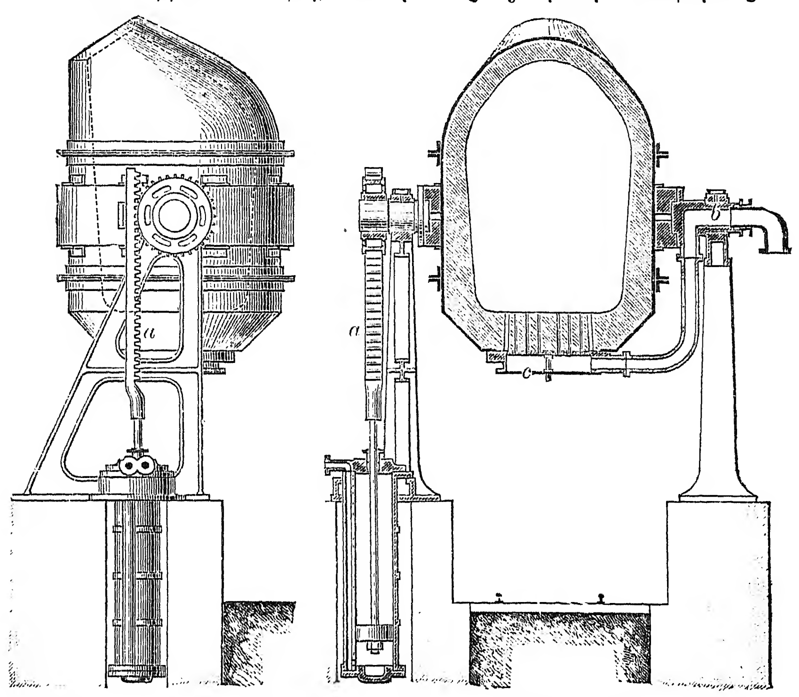


Abb. 6. Bessemerbirne (Seitenansicht). Abb. 7. Bessemerbirne (Vertikalschnitt).

der Erfinder selbst nach mehrjährigen Versuchen ausgeführt hat. Man nennt ihn wegen seiner birnenähnlichen Gestalt Bessemerbirne oder auch mit der englischen Bezeichnung Konverter. Die Abbildungen 6 und 7 stellen eine solche Birne in seitlicher Ansicht und im Querschnitt dar. Die Bessemerbirne ist ein an zwei drehbaren Zapfen in einem starken Eisengestell hängendes großes Gefäß. Sie besteht aus einem dicken schmiedeeisernen Mantel, der im Innern mit kieselsauren Stoffen ausgefüttert ist. Der Mantel ist mittels

eines starken Tragringes mit den Zapfen fest verbunden. Der eine dieser Zapfen hat ein Zahnrad, in das eine entsprechende Zahnstange a eingreift. Durch Auf- und Abwärtsbewegen der Zahnstange läßt sich die Birne kippen und in verschiedene Stellungen bringen. Der andere Tragzapfen (b) ist hohl und ist durch ein Rohr mit dem unter dem Boden der Birne befindlichen Windkasten c verbunden. Von dem Windkasten aus führen zahlreiche Durchbohrungen durch den Boden in die Birne. Der Boden ist, weil das Futter dort stärker angegriffen wird als an den Seitenwandungen und daher öfter ersetzt werden muß, zum Auswechseln eingerichtet. Der obere sich verengende Teil der Birne wird Hals genannt, der in der Abbildung 6 rechts befindliche Teil heißt Rücken.

Beim Bessemerprozeß verwendet man flüssiges Roheisen. Dieses entnimmt man meist dem Hochofen. Ist mit der Bessemer-Anlage jedoch kein Hochofenwerk verbunden, so schmilzt man es erst in sog. Kupolöfen (S. 100) ein. Das flüssige Roheisen aus Hoch- oder Kupolöfen kommt meist nicht unmittelbar in die Birne, sondern man bringt es erst in ein mächtiges eisernes, mit feuerfestem Material ausgefüttertes Gefäß, den Mischer. Damit verfolgt man einen doppelten Zweck: Zunächst kann das Roheisen, das nach jedem Hochofenabstich in der Zusammensetzung Abweichungen zeigt, sich darin derart vermischen, daß man ein gleichmäßiges Rohprodukt erhält; dann aber scheidet sich auch bei dem ruhigen Stehen des Eisens eine beträchtliche Menge seines größten Feindes, des Schwefels ab. Dieser hat nämlich eine große Affinität zum Mangan, er verbindet sich daher mit diesem meist im Eisen enthaltenen Element und bildet eine Schlacke, die wegen ihres geringen spezifischen Gewichts im Bade hochsteigt und dort leicht zu entfernen ist. Der Mischer ist stets zum Kippen eingerichtet und wird oft mit Heizvorrichtung versehen. Größere Mischer fassen bis zu 1000 t Roheisen. Aus dem Mischer wird das Roheisen in Pfannenwagen abgekippt und mittels derselben den Birnen zugeführt.

Das Arbeitsverfahren. Die von der letzten Charge noch glühende Birne wird soweit gekippt, daß sie wagerecht auf dem Rücken liegt. Dann wird das vom Mischer in der Pfanne herbeigefahrene flüssige Eisen in ihren Hals gegossen. Es darf natürlich nur soviel Eisen eingefüllt werden, daß es weder durch die Winddüsen in den Windkasten dringt noch aus dem Halse herausfließt. Nach dem Einfüllen werden die Gebläsemaschinen angestellt. Der auf $1\frac{1}{2}$ bis 2 at. gepreßte kalte Wind gelangt durch die hohlen

Zapfen in den Windkasten und von dort durch die Düsen in die Birne. Diese wird nun aufgerichtet und das Blasen beginnt: Der Wind durchdringt in zahlreichen Strahlen das flüssige Eisen und fängt sofort an, seine oxydierende Wirkung auszuüben, indem er zunächst das Silizium, dann das Mangan in ihre Sauerstoffverbindungen überführt und so in Schlacken verwandelt. Hierbei entwickeln sich nun die ungeheuren Wärmemengen (vgl. S. 20), die jeden Brennstoff wie Kohle u. dgl. überflüssig machen. Würden solche Wärmemengen durch die Oxydationsvorgänge nicht entstehen, so wäre das ganze Verfahren überhaupt nicht auszuführen; denn es ist ja klar, daß das Eisenbad durch die kalten Windstrahlen und die Außenluft immer mehr abgekühlt wird. Umgekehrt muß aber die Heiztemperatur mit dem abnehmenden Gehalt an Fremdstoffen, vor allem an Kohlenstoff immer noch zunehmen, um das Bad flüssig zu erhalten; denn die Schmelztemperatur des Eisens steigt ja mit abnehmendem Gehalte an Fremdstoffen sehr bedeutend. Ist der größere Teil des Siliziums und Mangans verbrannt, so kommt der Kohlenstoff an die Reihe. Mit immer stärker werdendem Getöse tritt das entstehende Kohlenoxydgas aus dem Birnenhalse heraus und verbrennt mit mächtiger helleuchtender Flammengarbe, die an ihrem Ende eingehüllt ist in braunen Rauch bestehend aus Oxyden des Mangans und Eisens. So heftig geht die Oxydation im Inneren der Birne vor sich, daß aus dem kochenden Eisenbade ein wahrer Sprühregen von Schlackenteilchen und glitzernden Sternchen verbrennender Eisenstücke sich über die Umgebung ergießt, ein wundervoller Anblick besonders zur Nachtzeit. Allmählich wird die Flamme kürzer und durchsichtiger, der braune Rauch an der Spitze verstärkt sich. Schließlich jedoch zieht sich die Flamme ganz in die Birne zurück und der Oxydationsvorgang ist beendet. Die Birne wird jetzt wieder gekippt und der Wind wird abgestellt. Der ganze Vorgang hat etwa 15—20 Minuten beansprucht. Man hat ein fast kohlenstofffreies Flußeisen erhalten.

Doch mit diesem Flußeisen ist nichts anzufangen. Das Eisen nimmt nämlich, je höher seine Temperatur und je geringer sein Gehalt an fremden Elementen, besonders an Kohlenstoff, desto gieriger Sauerstoff auf. Ein Teil des Flußeisens in der Birne verwandelt sich daher in Eisenoxydul, das sich in dem Bade auflöst und dem Eisen die unangenehme Eigenschaft erteilt, rotbrüchig zu sein. Man hat jedoch ausgezeichnete Mittel, diesen Sauerstoff wieder zu entfernen, das Eisen zu „desoxydieren“, indem man ihm einfach Stoffe zusetzt, die ein größeres Vereinigungsbestreben zum Sauerstoff haben,

als das Eisen, die also den Sauerstoff an sich reißen und dann zum größten Teil in die Schlacke gehen. Ein solcher Stoff ist das in den Legierungen Ferromangan und Spiegeleisen enthaltene Mangan. Das Mangan verbindet sich nach der Formel

$$FeO + Mn = MnO + Fe$$

mit dem Sauerstoff des Eisens. Das gebildete MnO ist schwer im Eisenbade löslich, steigt, da es spezifisch leichter ist als dieses, darin hoch und geht in die Schlacke über.

Spiegeleisen und Ferromangan enthalten neben dem hohen Mangangehalt auch noch viel Kohlenstoff. Sie haben daher auch die wichtige Aufgabe, dem kohlenstofffreien Eisenbad wieder einen gewissen erforderlichen Kohlenstoffgehalt zuzuführen, technisch ausgedrückt, es rückzukohlen. Will man kohlenstoffarmes Eisen erhalten, so setzt man nur 0,2—2% vom Einsatzgewichte an rotglühendem Ferromangan hinzu, zur Erzielung von kohlenstoffreichem Eisen (Stahl) würde bei einem größeren Zusatz von Ferromangan jedoch zuviel Mangan ins Bad gelangen. Man kohlt es daher mit flüssigem Spiegeleisen (2 bis 10% vom Einsatzgewicht). Sollte die hierdurch ins Eisen übergeführte Manganmenge immer noch den gewünschten Höchstgehalt überschreiten, so kann man auch nach Abgießen der Schlacke und nach erfolgter Desoxydation mit schwefelarmem Koks oder Graphit die Kohlung vornehmen, während das Eisen in die Pfanne entleert wird (Darbyverfahren, Düdelingerverfahren).

Man kann zur Erzeugung von Stahl das Rückkohlen auch umgehen, indem man mit dem Blasen einfach aufhört, wenn der Kohlenstoffgehalt bis auf die gewünschte Menge herunter oxydiert worden ist. Dieser Augenblick ist allerdings viel schwieriger zu erkennen, als der, in dem der gesamte Kohlenstoff entfernt ist, jedoch kann ein geübter Praktiker wenigstens annähernd an den Flammenerscheinungen mit Benutzung des Spektroskops feststellen, wann der Zeitpunkt zum Einstellen des Blasens gekommen ist. Jedoch auch hier schon ist fast stets etwas Sauerstoff vom Eisen aufgelöst, sodaß eine Desoxydation mit Ferromangan nicht zu umgehen ist, allerdings mit bedeutend geringeren Mengen.

Das Thomasverfahren. So große Erwartungen man auch auf den Bessemerprozeß gesetzt hatte, so große Enttäuschungen brachte er mit sich. Vor allen Dingen hatte er den großen Nachteil, daß der Phosphor durch ihn aus dem Eisen nicht entfernt werden konnte.

Da aber in Deutschland der größte Teil aller verhüttbaren Erze ein phosphorhaltiges Roheisen liefert, so konnte der Bessemerprozeß in Deutschland nur in vereinzelten Gegenden mit phosphorfreien Erzen, wie z. B. im Siegerlande Bedeutung gewinnen. Schon bald nach Erfindung des Bessemerprozesses machten große Eisenhüttenleute darauf aufmerksam, daß die Abscheidung von Phosphor gelingen müßte, sobald das kieselsaure Futter durch ein basisches ersetzt und dem Bade ein basischer Zuschlag gegeben würde. So wurden denn zahlreiche Vorschläge in dieser Richtung gemacht und viele Stoffe praktisch durchgeprobt, aber keiner von diesen hatte die nötige Widerstandsfähigkeit gegen die physikalischen und chemischen nachteiligen Einflüsse des hocherhitzten flüssigen Eisenbades. Zwanzig Jahre gingen erst ins Land nach Erfindung des Bessemerprozesses, bis der Engländer Thomas im Jahre 1878 als Futter Dolomit vorschlug, ein Gestein, das aus einem kristallinen Gemisch von Kalzium- und Magnesiumkarbonat besteht und durch Vermischen mit Teer bildsam gemacht wird.

Abgesehen davon, daß nunmehr alle phosphorreichen Erze Deutschlands verarbeitet werden konnten, hatte das Verfahren noch den großen Vorteil, daß die entstehende phosphorreiche Schlacke in feingemahlenem Zustande als sog. Thomasmehl ein wertvolles Düngemittel für die Landwirtschaft bildete. Das Thomasverfahren zeigt kleine Abweichungen von dem Bessemerverfahren. Vor Einfüllen des Eisens in die Birne werden in diese etwa 12—18 % des Eiseneinsatzes an gebranntem Kalk geworfen, der dazu dient, die Phosphorsäure zu binden. Nach dem Einfüllen des flüssigen Roheisens verbrennen ähnlich wie beim Bessemerprozeß zuerst Silizium und Mangan, dann die Hauptmengen des Kohlenstoffs. Erst wenn der Kohlenstoff bis auf eine ganz geringe Menge, höchstens 0,1 % entfernt ist, beginnt der Phosphor zu oxydieren. Man nennt diese Periode der Phosphoroxydation, die kaum 5 Minuten in Anspruch nimmt, das Nachblasen. Das Ende der Phosphoroxydation läßt sich an der Flamme nicht genau erkennen. Man muß daher Schöpfproben nehmen. Am Bruchaussehen der abgekühlten geschmiedeten Probe und durch Biegen und Aufhauen derselben erkennt man leicht, ob der Phosphor entfernt ist. Ist dies nicht der Fall, so muß dies durch nochmaliges Aufrichten der Birne und weiteres Blasen geschehen.

Ist der Phosphor vollständig in die Schlacke übergegangen, so gießt man diese vom Eisen ab und nimmt erst dann die Desoxydations- und Kohlungsarbeiten vor. Würde man die Schlacke vor Zusetzen des Ferromangans nicht erst entfernen, so würde durch den

Kohlenstoffgehalt dieser Legierung der Phosphor reduziert und wieder in das Eisenbad zurückgeführt werden.

Die Erzeugnisse. Durch die Windfrischverfahren lassen sich in einer halben Stunde in einer Birne Mengen bis zu 25000 kg Roheisen in schmiedbares Eisen umwandeln. Daher sind der Bessemer- und der Thomasprozeß zur Massenherstellung von schmiedbarem Eisen ganz besonders geeignet; die ungeheuren Mengen an Eisenmaterialien für den Bau und Betrieb der Eisenbahnen, wie Schienen, Schwellen, Laschen u. dgl. und für den Bau von Eisenkonstruktionen jeglicher Art wie Träger, Winkeleisen, Bleche usw. werden hauptsächlich aus Birnenflußeisen hergestellt. In den meisten Ländern, mit Ausnahme Nordamerikas, wird der Bessemerprozeß wegen der Unmöglichkeit, durch ihn phosphorhaltiges Roheisen zu verarbeiten, nur vereinzelt angewendet, dagegen spielt der Thomasprozeß eine desto größere Rolle. Das meiste durch das Thomasverfahren erblasene schmiedbare Eisen ist ein weiches bis mittelhartes Flußeisen mit Kohlenstoffgehalten bis zu 0,5%. Während die Schlacken des sauren Prozesses im allgemeinen keine Verwendung finden, sind die Thomasschlacken von sehr großer Bedeutung. Sie spielen in fein gemahlenem Zustande als sog. Thomasphosphatmehl in der Landwirtschaft eine große Rolle, da sie wegen ihres hohen Phosphorsäuregehalts ein vorzügliches Düngemittel sind. Der Phosphorsäuregehalt der Thomasschlacke schwankt zwischen 16 und 23%, der Kalkgehalt beträgt 46—50%, außerdem sind noch Eisenoxyde, Manganoxyd, Kieselsäure und Magnesia darin enthalten. Da den Pflanzen nicht der ganze Phosphorsäuregehalt des Thomasmehls zugute kommt, sondern nur der in Zitronensäure lösliche, so wird der Wert des Düngemittels durch jenen Gehalt bedingt. Die Zitronensäurelöslichkeit kann durch einen Zusatz an Kieselsäure (Sand) und möglichst weitgehendes Mahlen zu feinem Staub gesteigert werden.

Das in der Birne hergestellte Flußeisen wird in eine große Gießpfanne ausgekippt, die meist in einem fahrbaren Gießkran (Gießwagen) hängt. Die Pfanne ist mit feuerfestem Material ausgefüttert und hat in ihrem Boden eine Öffnung, die durch einen Stopfen mit Hebevorrichtung von außen geschlossen und geöffnet werden kann und durch die man das Eisen herausfließen läßt, falls die Entleerung nicht durch Kippen der Pfanne vorgenommen werden soll.

Um das Flußeisen bequem weiter verarbeiten zu können, bringt man es allgemein in die Form mehr oder weniger großer prismatischer Blöcke, indem man es aus der Pfanne in sog. Kokillen (französisch coquille) fließen läßt, das sind gußeiserne hohe Kästen

von quadratischem Querschnitt, die sowohl unten als oben offen sind. Zur Füllung der Kokillen gibt es zwei Gießverfahren, den direkten Guß und den steigenden (kommunizierenden) Guß. Bei dem ersteren fließt das Eisen aus der Pfanne unmittelbar von oben herab in die einzelnen Kokillen, die auf gußeisernen Platten stehen; bei dem letzteren dagegen fließt es aus der Pfanne zuerst in einen Eingußtrichter, der in der Mitte einer ganzen Anzahl von Kokillen auf einer gemeinsamen Gußplatte aus feuerfesten Steinen steht und mit jeder einzelnen Kokille durch je einen Kanal in der feuerfesten Steinplatte verbunden ist. Vom Eingußtrichter gelangt das Eisen durch die einzelnen Kanäle in die Kokillen und steigt von unten in diesen hoch. Den steigenden Guß wendet man hauptsächlich dann an, wenn es auf möglichst dichtgegossene Blöcke ankommt und wenn eine größere Anzahl kleiner Blöcke gegossen werden soll; ein Füllen zahlreicher kleiner Kokillen von oben her würde viel zu zeitraubend sein. Durch steigenden Guß kann man Blöcke (Ingots) bis herab zu 80 kg gießen. Im übrigen ist die Größe der in Kokillen gegossenen Blöcke sehr verschieden, sie können ein Gewicht bis zu 3000 kg und darüber haben. Sind die Blöcke in den Kokillen erstarrt, so werden letztere mittels eines sog. Stripperkrans von den Blöcken nach oben hin abgezogen. Sollen die glühenden Blöcke dann gleich weiter verarbeitet werden, so werden sie mit großen an Kranen hängenden Zangen erfaßt und in das Walz-, Preß- oder Hammerwerk geschafft.

Die Siemens-Martinverfahren (Herdfrischen).

Der schon seit Mitte des 18. Jahrhunderts hergestellte, im flüssigen Zustande gewonnene Tiegelstahl erforderte so hohe Erzeugungskosten, daß man schon in der ersten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wiederholt versuchte, einen guten Flußstahl auf billigere Weise im Herde eines Flammofens darzustellen. Auch als der Bessemerprozeß erfunden war, ließ man von jenem Bestreben nicht ab, ja man wurde sogar darin bestärkt, weil dieser Prozeß ein dem Tiegelstahl durchaus nicht gleichwertiges Material lieferte und weil man ferner die zahlreichen Stahlabfälle und Ausschußstücke des Bessemerverfahrens wieder durch Einschmelzen verwerten wollte. Doch alle darauf hinzielenden Versuche scheiterten, weil es nicht gelingen wollte, eine genügend hohe Schmelztemperatur zu erzielen. Endlich hatten dann die Gebr. Martin zu Sireuil in Frankreich im Jahre 1864 den ersten praktischen Erfolg in dieser Hinsicht zu verzeichnen. Ihnen gelang es, unter Anwendung

der von Friedrich Siemens für die Glasfabrikation erfundenen und von seinem Bruder C. W. Siemens für das Eisenhüttenwesen umgeänderten Regenerativgasfeuerung, im Herde eines Flammofens brauchbaren flüssigen Stahl zu erzeugen.

Die bedeutend höheren Wärmewirkungen ihrer Feuerung erreichten die Gebrüder Siemens dadurch, daß sie Generatorgas (vgl. S. 44) nebst der zu seiner Verbrennung benötigten Luft in sog. Wärmespeichern vorwärmten und die Verbrennung im Herde des Ofens selbst vor sich gehen ließen und zwar nur mit soviel vorgewärmter Luft, als gerade zur vollständigen Verbrennung nötig war.

Der Siemens-Martinofen. Das Herdfrischverfahren geht in dem Martinofen vor sich, den Abb. 8 u. 9 im Längs- und Quer-

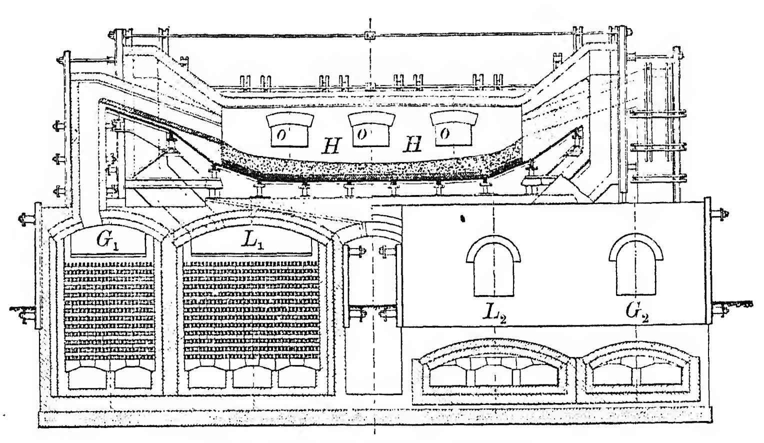


Abb. 8. Siemens-Martinofen (Längsschnitt).

schnitt darstellen. Der Martinofen besteht aus dem Herd H mit den seitlich davon angeordneten Brennköpfen, den zwei Paar Wärmespeichern für Luft und Gas, den Umsteuerventilen für Luft und Gas und dem Kamin. Der muldenförmige Herd H wird von starken gußeisernen Platten getragen und ist, soweit er mit dem geschmolzenen Eisen und der Schlacke in Berührung kommt, bei basischen Öfen mit Dolomit oder Magnesit, bei sauren Öfen mit Quarz ausgefüttert. Der Herd wird begrenzt durch die Vorderwand mit den verschließbaren Öffnungen o zum Einsetzen der Rohstoffe, durch die Rückwand mit dem Stichloch a zum Abstechen des fertigen Eisens und an seinen

Stirnseiten durch die Brennköpfe, welche die Kanäle (Züge) für Zufuhr von Gas und Luft enthalten. Die Wände in ihren oberen Teilen, das Deckengewölbe und die Brennköpfe, die sämtlich aus Silicaziegeln bestehen, sind, da sie sich in der Hitze sehr ausdehnen, durch starke Verankerungen zusammengehalten. Durch die Züge in den Brennköpfen ist der Herdraum mit den unter ihm liegenden Wärmespeichern verbunden. Diese bilden mit einem Gitterwerk feuerfester Steine ausgefüllte Kammern, von denen die beiden größeren zur Vorwärmung der Luft, die beiden kleineren zur Vorwärmung des Gases dienen. (In Abb. 8 sind die beiden rechten Wärmespeicher durch die Vorderwand verdeckt.) Die Wärmespeicher sind durch unterirdische Kanäle mit den Umsteuerventilen für Luft und Gas verbunden. Ebenso verbinden Kanäle die Umsteuerventile mit dem Kamin.

Das in den Generatoren erzeugte oder sonstwie erhaltene Gas (Koksofengas, Gichtgas, Naturgas) wird in einem großen Rohr gesammelt und von dort den Martinöfen zugeführt.

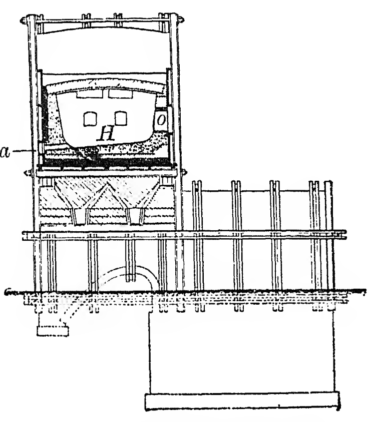


Abb. 9. Siemens-Martinofen (Querschnitt).

Wir wollen nun den Weg des Gases und den der Luft in einem einzelnen Martinofen (vgl. Abb. 8) verfolgen. Das Gas strömt zunächst durch das Gasventil in den hocherhitzten Wärmespeicher G_1, die Luft durch das Luftventil in den daneben liegenden Wärmespeicher L_1. Hier erwärmen sich beide stark an den glühenden Steinen des Gitterwerks und gelangen mit hohen Temperaturen, immer noch streng von einander getrennt, durch die Züge in den Herd, und zwar die Luft oberhalb des Gases, weil sie schwerer ist als dieses und sich so besser mit ihm vermischt. In Abb. 8 ist der Zug für die Luft auf der linken Seite des Ofens durch gestrichelte Linien angedeutet, ebenso der Gaszug auf der rechten Seite. Im Herde selbst findet dann die Verbrennung des Gases statt, bei der so hohe Temperaturen erzeugt werden, daß auch das kohlenstoffreie Flußeisen geschmolzen bleibt. Die heißen Verbrennungsgase ziehen dann weiter durch die gegenüberliegenden Züge und in die Wärmespeicher G_2 und L_2 (in der Abbildung verdeckt), heizen diese und gehen dann schließlich zur Esse. Nach einer gewissen Zeit sind G_2 und L_2 stark erhitzt, G_1 und L_1

durch die kalten Gase dagegen abgekühlt. Nun werden die Ventile umgestellt, Gas und Luft gehen jetzt den entgegengesetzten Weg, d. h. erst durch die rechten Kammern, wo sie die Wärme aufnehmen, dann in den Herd, wo die Verbrennung stattfindet, schließlich wieder in die linken Kammern, an die sie die Wärme abgeben, und endlich zur Esse. Das Umsteuern wird je nach Bedarf vorgenommen, manchmal schon nach 10 Minuten.

Das Arbeitsverfahren. Ebenso wie beim Windfrischverfahren benutzt man auch bei dem Martinverfahren hauptsächlich nur basisches Futter, um den gefährlichen Phosphor aus dem Eisen entfernen zu können; vom basischen Verfahren wird hier auch nur die Rede sein. Das heutige basische Martinverfahren ist kein so einheitlich durchgeführter Prozeß, wie das Bessemer- und Thomasverfahren; es gibt eine ganze Anzahl verschiedener Ausführungsarten, von denen die wichtigsten das Schrottroheisenverfahren (kurz Schrottverfahren) und das Roheisenerzverfahren sind.

Das Schrottroheisenverfahren. Dieses ist das älteste und ursprüngliche Martinverfahren. Es beruht auf dem Schmelzen und Frischen von 20—35 % Roheisen zusammen mit 80—65 % Schrott, d. h. altem Eisenmaterial bzw. Abfällen der Eisendarstellung und -verarbeitung, die in allen eisenverbrauchenden Ländern in ungeheurer Menge zur Verfügung stehen. Als Frischmittel wirken bei dem Schrottverfahren namentlich der in der Flamme enthaltene Sauerstoff, dann der Sauerstoff der entstehenden Schlacke und schließlich noch in geringem Maße der des am Alteisen haftenden Rostes. Zur Beschleunigung des Oxydationsvorganges pflegt man etwas Eisenerz und andere oxydische Stoffe wie Walzsinter und Hammerschlag dem Bade zuzusetzen. Durch Oxydation oder auf sonstige Weise werden durch den Martinprozeß besonders Kohlenstoff, Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel aus dem Eisen in mehr oder weniger großen Mengen entfernt. Kupfer, Arsen und Zinn sind nicht aus dem Eisen herauszubringen, dürfen daher nur in unschädlichen Mengen in den Rohstoffen enthalten sein.

Für das Herdofenfrischen ist im Gegensatz zum Windfrischen ziemlich jedes Roheisen von beliebiger Zusammensetzung verwendbar, allerdings beeinflussen die darin enthaltenen Elemente mit ihrer Menge stark den Verlauf des Prozesses. Die wichtigste Rolle spielt auch hier wieder der Kohlenstoff. Das durch die Oxydation sich bildende Kohlenoxyd steigt in Blasen aus dem Eisenbade auf und bringt dasselbe in starkes Wallen. Dies ist von großer Wichtigkeit für das Gelingen des

Prozesses, denn hierdurch werden alle Teile des Bades mit der wärmegebenden oxydierenden Flamme in Berührung gebracht, sodaß überall gleichmäßig die chemischen Reaktionen durch die Einwirkung des Sauerstoffs erfolgen können. Silizium oxydiert sehr leicht, befördert wegen der dabei entstehenden großen Wärmemengen das Einschmelzen und erleichtert die Schlackenbildung. Andererseits ist in vielen Fällen ein hoher Siliziumgehalt nicht wünschenswert, weil schon an und für sich durch die Zuschläge und dergleichen genügend Kieselsäure in den Ofen gelangt. Außerdem vermindert ein zu hoher Siliziumgehalt die Wirkung der unbedingt erforderlichen basischen Zuschläge. Unerwünscht ist in den meisten Fällen ein Phosphorgehalt über 0,5 %, weil er darüber hinaus nur schwierig zu entfernen ist ohne Anwendung einer größeren Menge oxydischen Eisenerzes. Dadurch wird aber der Wärmebedarf erhöht und die Chargendauer verlängert. Mangan wirkt günstig, denn es hat die sehr willkommene Eigenschaft, daß es einen großen Teil des durch Verbrennung gebildeten Eisenoxyds wieder reduziert und daß es wie im Roheisenmischer den größten Teil des Schwefels bindet und als Mangansulfid in die Schlacke geht. Sind die im Roheisen enthaltenen Reduktionsstoffe annähernd in der Menge darin enthalten, daß sie der oxydierenden Einwirkung der Flamme auf das Eisen die Wage halten und daß kein Erzzuschlag nötig ist, so erzielt man beim Schrottroheisenprozeß die günstigsten Betriebsergebnisse.

Vor Beginn einer jeden Charge, die bei größeren Einsätzen 6 bis 8 Stunden erfordert, wird der Ofen an den schadhaften Stellen schnell ausgebessert. Das Einsetzen der Rohstoffe geschieht bei kleineren Öfen wohl noch von Hand, bei großen mit 15—50 t Einsatz und darüber würde dies jedoch zu langwierig sein und auch durch die große Hitze im Ofeninnern sehr erschwert werden. Man hat daher die menschliche Arbeit hier durch Maschinen ersetzt, die Einsetz- oder Beschickmaschinen (auch Chargiermaschinen) genannt werden. Diese sind neuerdings meist in Form von elektrisch angetriebenen hängenden Kranen ausgeführt und fahren vor der Front der Martinöfen auf und ab. Sie packen mit einer langen Schubstange die in rechteckige eiserne Kästen (Mulden) gelegten Einsatzstoffe, schieben die Mulden durch die Einsatztüren in den Herd, kippen ihren Inhalt über demselben aus und ziehen sie wieder aus dem Ofen heraus. Vor dem Eisen wird als unbedingt notwendiger Zuschlag Kalk in den Ofen gesetzt, hauptsächlich zur Bindung des Phosphors und in geringem Maße auch des Schwefels. Das Einschmelzen der Eisenmaterialien erfordert etwa 3—4 Stunden. Bald beginnt dann das Kochen des

Bades durch das aufsteigende Kohlenoxyd. Die Kochperiode erreicht nach einer halben Stunde ihren Höhepunkt nnd ist nach einer weiteren halben Stunde beendigt. Durch wiederholte Schöpfproben überzeugt man sich mehrfach von der Güte des erzielten Eisens, gibt, wenn erforderlich, noch Kalk- oder Erzzuschläge oder setzt, wenn die Entkohlung bereits zu weit vorgeschritten war, zur Anreicherung von Kohlenstoff Ferromangan oder Spiegeleisen hinzu. Um harte Flußeisenarten mit höherem Kohlenstoffgehalt, also Flußstahl, zu erzeugen, braucht die Entkohlung nicht bis zu Ende durchgeführt zu werden. Bei dem langsamen Verlauf des Prozesses kann man viel leichter als bei dem Windfrischverfahren durch Probenehmen rechtzeitig den erwünschten Kohlenstoffgehalt feststellen.

Zur Desoxydation und Kohlung verwendet man wie beim Windfrischen Ferromangan (0,5—1 % des Einsatzes, bei härteren Qualitäten auch noch mehr) und Spiegeleisen, unter Umständen auch Ferrosilizium oder sonstige kohlende Substanzen. Hat das Eisen die gewünschte Zusammensetzung und die richtige Gießhitze, so wird das Abstichloch geöffnet und der glühende Eisenstrom ergießt sich in die unter die Abstichrinne gefahrene Pfanne, mit der das Eisen wie bei den Windfrischverfahren in die Kokillen gegossen wird.

Das Roheisenerzverfahren. Bei diesem Martinverfahren setzt man flüssiges Roheisen in den Ofen ein und frischt dasselbe nicht nur durch den sauerstoffreichen Gasstrom sondern auch noch durch einen Zusatz oxydischer Eisenerze. Das flüssige Roheisen entnimmt man unmittelbar dem Hochofen oder läßt es vorher wie beim Windfrischen durch den Mischer gehen. Zuerst wird Erz und Kalkstein in den Ofen gesetzt und erhitzt und dann wird das flüssige Roheisen darauf gegossen. Das Bad gerät alsbald in lebhaftes Schäumen. Allmählich senkt es sich jedoch, und nun beginnt durch die Kohlenstoffverbrennung die Kochperiode. Der weitere Verlauf ist dann ebenso wie beim Schrottverfahren. Mit Öfen mittlerer Fassung kann man nach diesem Verfahren in 24 Stunden bei 4 Chargen etwa 100 bis 130 t Martinflußeisen erzeugen.

Mit steigendem Phosphorgehalt des Roheisens wächst die Schwierigkeit, ein phosphorarmes Endprodukt zu erzeugen, weil ein Teil des Phosphors leicht wieder aus der Schlacke reduziert wird und dann in das Eisen übergeht. Diesem Übelstand begegnet ein anderes Martinverfahren, das Bertrand-Thielverfahren, bei dem der Prozeß in zwei voneinander getrennten Perioden vorgenommen wird In der ersten Periode (Vorfrischen) werden hauptsächlich Silizium

Mangan und Phosphor entfernt und ein kleiner Teil des Kohlenstoffs. Die sehr wertvolle phosphorreiche Schlacke wird dann vom Eisen dadurch getrennt, daß man das Metall in einen zweiten tiefergehenden Martinofen ohne Schlacke abfließen läßt oder mittelst Pfanne ohne Schlacke in einen danebenstehenden Ofen bringt, oder es schließlich nach dem Hoeschverfahren nebst Schlacke in eine Pfanne absticht und es nach Abgießen der Schlacke wieder in denselben Ofen zurückbringt. Das schlackenfreie vorgefrischte Eisen wird sodann unter neuem Zusatz von Erz durch weiteres Frischen von den übrigen Verunreinigungen befreit. Neuerdings hat man auch mit Erfolg versucht, ein Vorfrischen in geheizten Mischern mit einem Fassungsvermögen bis zu 350 t zu bewerkstelligen. Es wird dabei durch Zusatz von Kalk und oxydischem Erz ein nicht unbeträchtlicher Teil des Siliziums und Phosphors aus dem Eisen herausgebracht, neben Mangan und Schwefel, die ja bekanntlich stets im Mischer größtenteils entfernt werden.

Eine andere Abart des Roheisenerzverfahrens ist das besonders in den Vereinigten Staaten von Amerika verbreitete Talbotverfahren. Bei diesem geht der Prozeß in einem großen kippbaren Martinofen mit einem Fassungsvermögen von 100—300 t vor sich. Es wird immer nur ein Teil des erzeugten Flußeisens durch Kippen des Ofens abgegossen, sodann wird durch neuen Zusatz von Roheisen unter vorherigem Einbringen von Erzen und Kalk weitergefrischt. Die Desoxydation durch Ferromangan kann hierbei immer erst in der Pfanne erfolgen, in die das fertig gefrischte Eisen abgegossen worden war. Alle übrigen Abarten des Martinverfahrens haben entweder nur lokale Bedeutung oder sind überhaupt nicht mehr in Anwendung. Es gehören hierher der Wittkowitzer Duplexprozeß, bei dem in Bessemerbirnen vorgefrischt wurde, das Daelen-Pszczolkaverfahren, bei dem das Vorfrischen in einer Pfanne mit heißem Hochofenwind vor sich ging, das Monellverfahren mit Schlackenentfernung mitten im Prozeß selbst, schließlich das Surzyckiverfahren, bei dem das Talbotverfahren in feststehendem Ofen dadurch zur Ausführung gebracht wurde, daß der Ofeninhalt durch mehrere übereinanderliegende Abstichöffnungen immer nur teilweise abgestochen wurde.

Durch die Martinprozesse kann man für die verschiedensten Verwendungszwecke geeignetes Eisen erzeugen, in erster Linie werden weiche Flußschmiedeeisenarten dadurch hergestellt.

3. Die Darstellung des schmiedbaren Gusses: Das Glühfrischen[1]).

Die Darstellung von schmiedbarem Eisen war bei allen Verfahren, die wir bisher kennen lernten, dadurch erfolgt, daß dem Roheisen im geschmolzenen Zustande ein Teil seiner Nebenbestandteile (besonders Kohlenstoff) durch Oxydation entzogen wurde. Es gibt nun auch noch ein anderes sehr altes Frischverfahren, bei dem diese Oxydation im festen Zustande des Roheisens bewirkt wird. Es ist dies das Glühfrischen. Dieses Verfahren war schon zu Anfang des 17. Jahrhunderts bekannt und ist später im Jahre 1722 von dem bekannten Physiker und Zoologen Réaumur beschrieben worden, dessen achtzigteilige Thermometerskala wir noch jetzt in Deutschland teilweise im Gebrauch haben. Das Glühfrischen beruht darauf, daß man das Roheisen, das bereits durch Gießen in die gewünschte Gebrauchsform gebracht ist, in Eisensauerstoffverbindungen (reine oxydische Eisenerze) einbettet und das Ganze in besonderen Öfen auf etwa 900° erhitzt. Der Sauerstoff der Erze verbindet sich hierbei mit einem Teil des Kohlenstoffgehalts der gußeisernen Gegenstände und verwandelt jene auf diese Weise in schmiedbares Eisenmaterial.

Dem Laien wird es zunächst wunderbar vorkommen, daß man zuerst das Roheisen durch Gießen in Gebrauchsgegenstände bringt und dann erst die Verwandelung in schmiedbares Eisen vornimmt. Warum werden solche Gegenstände denn nicht gleich aus flüssigem schmiedbarem Eisen gegossen? Dies hat leicht erklärliche Gründe. Alles Flußeisen legt beim Gießen in Formen unangenehme Eigenschaften an den Tag, die es besonders ungeeignet zur Herstellung kleinerer Gegenstände mit dünnerem Querschnitte machen. Außerdem ist die Herstellung von so kleinen Gegenständen durch Formguß aus Flußeisen kostspieliger als durch schmiedbaren Guß.

Das Glühfrischen geht in Öfen verschiedenster Bauart vor sich. Kleinere Sachen werden zusammen mit dem Erz in eiserne verschließbare Zylinder (Glühtöpfe) gepackt und dann in die Öfen gesetzt, größere Gegenstände werden in rechteckigen Kisten oder gemauerten Behältern im Ofen untergebracht. Sodann wird der Ofen verschlossen und langsam angeheizt, bis nach etwa 24 Stunden eine Temperatur

1) Die Bezeichnung Tempern für Glühfrischen und Temperstahlguß für schmiedbaren Guß ist nicht richtig. Tempern ist nur ein Glühen gußeiserner Gegenstände bei Luftabschluß.

von 900° erreicht worden ist. Der Sauerstoff des Erzes verbindet sich zunächst mit dem Kohlenstoff derjenigen Moleküle eines gußeisernen Gegenstandes, die an der Oberfläche desselben liegen. Dann beginnen die benachbarten weiter nach innen gelagerten Moleküle von ihrem höheren Kohlenstoffgehalt an die bereits entkohlten etwas abzugeben und so findet eine ständige Wanderung des Kohlenstoffs von Molekül zu Molekül von innen nach außen hin statt. Dieses Wandern geht sehr langsam vor sich, die Gegenstände müssen daher etwa acht Tage lang im Erz eingebettet liegen. Die beiden letzten Tage läßt man allmählich abkühlen. Bemerkenswert ist, das nur die Temperkohle, also der Kohlenstoff, welcher durch Glühen schnell erkalteten weißen Roheisens entsteht, durch die Oxydation beim Glühfrischen aus dem Eisen herauswandert, nicht aber der Graphit. Deswegen kann nur weißes Roheisen, bei dem die Graphitabscheidung durch schnelle Abkühlung unterbunden worden ist, durch das Glühfrischen in schmiedbares Eisen verwandelt werden.

B. Die Darstellung veredelten schmiedbaren Eisens.

1. Die Darstellung des Zementstahls.

Das Zementieren ist der entgegengesetzte Vorgang des Glühfrischens. Während bei letzterem der Kohlenstoff aus dem Eisen herauswandert, zieht er beim Zementieren in dasselbe hinein. Auf diese Weise kann man ein kohlenstoffarmes weiches Schmiedeeisen in kohlenstoffreichen Stahl umwandeln. Das Verfahren ist schon einige Jahrhunderte alt. Die Darstellung des Zementstahls ist naturgemäß teurer als die Stahldarstellung durch die üblichen Frischverfahren; jedoch kann man den Zementstahl in solcher Reinheit herstellen, daß er auch heute noch ein begehrter Rohstoff für die Tiegelstahldarstellung ist.

Zur Zementstahldarstellung benutzt man meist ein reines aus phosphorarmem Roheisen durch Puddeln hergestelltes Schweißeisen. Dieses wird in Form von 1—2 cm dicken Flachstäben in abwechselnden Lagen mit durchgesiebtem Holzkohlenklein in etwa 3 m lange gemauerte Kisten eines Zementierofens gepackt. Es stehen meist zwei Kisten im Ofen, die je etwa 8000—15000 kg Eisen aufzunehmen vermögen. Nach Füllung werden die Kisten zugemauert, sodann wird Feuer im Ofen angemacht und allmählich verstärkt, bis die Temperatur nach $1\frac{1}{2}$ Tagen auf etwa 1000° gestiegen ist. In dieser Hitze hält man den Ofen 7 bis 9 Tage; dabei wandert der Kohlenstoff aus der Holzkohle in das Eisen. Mehr als einen bestimmten Gehalt

an Kohlenstoff nimmt das Eisen auch bei noch so langem Glühen nicht auf. Nach Beendigung der Glühzeit läßt man etwa 7 Tage hindurch langsam abkühlen. Der Prozeß erfordert aber im ganzen 14 bis 20 Tage. Der aus der Kiste kommende Rohstahl ist ungleichmäßig zusammengesetzt und enthält außerdem, wenn er aus Schweißeisen hergestellt wurde, viel Schlacken. Er ist deswegen nicht unmittelbar verwendbar und wird daher meist noch, wie schon oben angedeutet wurde, in Tiegeln umgeschmolzen. In selteneren Fällen wird er durch Zusammenschweißen unter eingehender mechanischer Behandlung (Hämmern, Pressen oder Walzen) in Gärb- oder Raffinierstahl umgewandelt.

Ein dem Zementieren ähnliches Verfahren, das eine große praktische Bedeutung erlangt hat, ist die sog. Oberflächenhärtung. Diese wendet man z. B. bei der Panzerplattenherstellung an. An die Panzerplatten stellt man die doppelte Anforderung, daß sie außen hart sind, um das aufprallende Geschoß zurückzuwerfen, daß sie außerdem aber zähe sind, um auf der Innenseite zusammenzuhalten, wenn sie auf der Außenseite durch das Geschoß Risse bekommen haben sollten. Daher stellt man die Platten aus weicherem, zähem, nickelhaltigem Eisen her und verwandelt die äußere Seite dadurch in harten Stahl, daß man sie zementiert und dann abschreckt. Zur Kohlung benutzt man Holzkohlenpulver oder auch Leuchtgas, dessen Äthylengehalt die Wirkung eines Zementationsmittels hat.

2. Die Darstellung des Tiegelstahls.

Die Tiegelstahldarstellung geht, wie der Name besagt, in Tiegeln vor sich. Dies sind mit einem Deckel verschließbare Gefäße mit einem Fassungsvermögen von 10—40 kg Eisen und darüber. Sie bestehen meist aus einem Gemisch von Graphit, Schamotte und frischem Ton oder aus Graphit und Ton oder aus Schamotte, Ton, Kohle und Holzkohlenpulver. Das Tiegelmaterial wird, nachdem es gut durchgemischt und geknetet ist, durch Pressung in die Tiegelform gebracht. Nach sehr sorgsamer Trocknung, die viele Wochen beansprucht und in besonderen heizbaren Kammern vorgenommen wird, werden die Tiegel gleich mit dem eingesetzten Schmelzmaterial geglüht und dann sofort mit großen Zangen in den Schmelzofen gebracht. Die Schmelzöfen sind von sehr verschiedener Bauart. Für größere Betriebe sind meist dem Siemens-Martinofen ähnliche Öfen mit Wärmespeichern und Gasfeuerung in Anwendung, die Tiegel stehen dann meist zu 40 bis 100 Stück auf dem horizontalen Herde.

Das in den Tiegeln umzuschmelzende schmiedbare Eisen muß sehr rein, vor allen Dingen frei von Phosphor und Schwefel sein, denn ersterer bleibt vollständig im Eisen, letzterer läßt sich nur zum geringsten Teile beseitigen. Puddelstahl und Zementstahl sind die bevorzugten Rohstoffe zur Tiegelstahlerzeugung, doch werden auch reiner Bessemer- und Martinstahl darin umgeschmolzen. Weiches schmiedbares Eisen wird nur ausnahmsweise in Tiegeln erzeugt, weil dieselben solch hohen Temperaturen, die zum Schmelzen eines so kohlenstoffarmen Materials bekanntlich erforderlich sind, im allgemeinen nicht gut standhalten.

Da das eingesetzte Eisen stets einen geringen Sauerstoffgehalt hat, sei es durch seinen Schlackengehalt (Schweißeisen), sei es durch anhaftenden Rost und Glühspan, so bildet sich zunächst eine eisenoxydreiche Schlacke. Diese oxydiert einen Teil des Kohlenstoffs und es bildet sich unter geringem Aufwallen des Eisens etwas Kohlenoxyd. Den oxydierten Kohlenstoff ersetzt sich das Eisen aber bald wieder, indem es ihn aus den Tiegelwandungen aufnimmt. Je kohlenstoffreicher die Tiegel sind, desto stärker ist auch die Kohlenstoffaufnahme. Auch Mangan im Eisen bewirkt starke Aufnahme von Kohlenstoff aus den Wandungen. Sind die Tiegel sehr kohlenstoffarm, so findet eine Ergänzung an Kohlenstoff nicht statt und das Erzeugnis ist kohlenstoffärmer als der Einsatz.

Oft setzt man dem Eisen in den Tiegeln Chrom, Wolfram, Molybdän, Vanadium und andere Elemente hinzu und erhält hierbei einen vorzüglichen Stahl, der sich für Werkzeuge, z. B. Schnelldrehbohrer u. dgl. hervorragend eignet. Große Sorgfalt erfordert das Gießen tiegelstählerner Gegenstände. In einem einzigen ununterbrochenen Strahle muß sich das Eisen aus den einzelnen Tiegeln in die Form ergießen. Eine Unterbrechung von Sekunden genügt, daß sich ein Oxydhäutchen an der Oberfläche im Gußstück bildet und eine unganze Stelle darin verursacht.

Der Tiegelstahl ist das edelste eisenhüttenmännische Erzeugnis, ihm kommt an Güte nur noch der erst seit wenigen Jahren dargestellte Elektrostahl gleich. Der Tiegelstahl zeichnet sich durch größte Reinheit und sehr gleichmäßige Zusammensetzung aus. Er wird zur Herstellung von Geschütz- und Gewehrrohren, Werkzeugen, Konstruktionsteilen und anderen Gegenständen verwendet, an deren Festigkeitseigenschaften man die höchsten Anforderungen stellt.

3. Die Darstellung des Elektrostahls.

Ein zweites Verfahren zur Erzeugung hochwertigen Qualitätseisens durch Umschmelzen von schmiedbarem Eisen, das durch eines der gewöhnlichen Frischverfahren erzeugt worden ist, ist die Elektrostahldarstellung. Wenn der Elektrostahl auch erst in diesem Jahrhundert als jüngstes Glied in die Reihe der schmiedbaren Eisensorten aufgenommen wurde, so ist er doch wegen seiner hervorragenden Eigenschaften schon jetzt zu einem gefährlichen Nebenbuhler des Tiegelstahles geworden und wird wohl in Gegenden, wo billiger elektrischer Strom zu erzeugen ist, den Tiegelstahl ganz verdrängen.

Auf Seite 21 war bereits darauf hingewiesen worden, daß die Wärmeerzeugung durch Elektrizität im Eisenhüttenwesen entweder auf der Lichtbogenerhitzung oder der Induktionserhitzung beruht. Von den elektrischen Öfen mit Lichtbogenheizung haben diejenigen von Stassano, Héroult und Girod die weiteste Verbreitung gefunden, während von den Öfen mit Induktionsheizung diejenigen von Kjellin und Röchling-Rodenhauser bisher die größte Bedeutung erlangt haben.

Der Stassanoofen. Dieser ist der einzigste Ofen zur Elektrostahlerzeugung, bei dem der elektrische Strom nicht durch das Metallbad geht. Der Ofen besteht aus einem allseitig geschlossenen Schmelzraume mit zylindrischem Querschnitt. In den Schmelzraum ragen seitlich zwei oder drei Kohleneelektroden hinein, zwischen denen der elektrische Strom den das Schmelzgut erhitzenden Lichtbogen bildet. Der ganze Ofen, der auf schiefer Ebene montiert ist, dreht sich während des Betriebes, damit das Schmelzgut zur Erzielung gleichmäßiger Zusammensetzung hinreichend durchgearbeitet wird.

Der Héroultofen. Ein Héroultofen ist nichts anderes als ein kippbarer Martinofen, mit der Abänderung, daß die erforderliche Wärme dem Einsatz von oben anstatt durch Gas durch den elektrischen Strom zugeführt wird. Einen Héroultofen gibt Abbildung 10 im Querschnitt wieder. Derselbe ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und in einen starken Eisenblechmantel eingepanzert. Der Boden des Ofens ist abgerundet und ruht auf gebogenen Schienen, so daß er mit Hilfe eines hydraulischen Zylinders oder einer elektrischen Vorrichtung gekippt werden kann. Der Herd ist, soweit er mit dem Schmelzgut in Berührung kommt, mit Dolomitmasse *K* ausgestampft. Die Stromzufuhr geschieht durch zwei (bei Drehstrom durch drei) einzeln verstellbare Kohlen- oder Graphit-Elektroden, die durch das Deckengewölbe von obenher in den Schmelzraum hineinragen. (In der

Abb. 10 ist nur die vorderste Elektrode E zu sehen.) Der elektrische Strom dringt durch die eine Elektrode in den Ofen ein, bildet zwischen deren unterem Ende und der auf dem Metallbade befindlichen

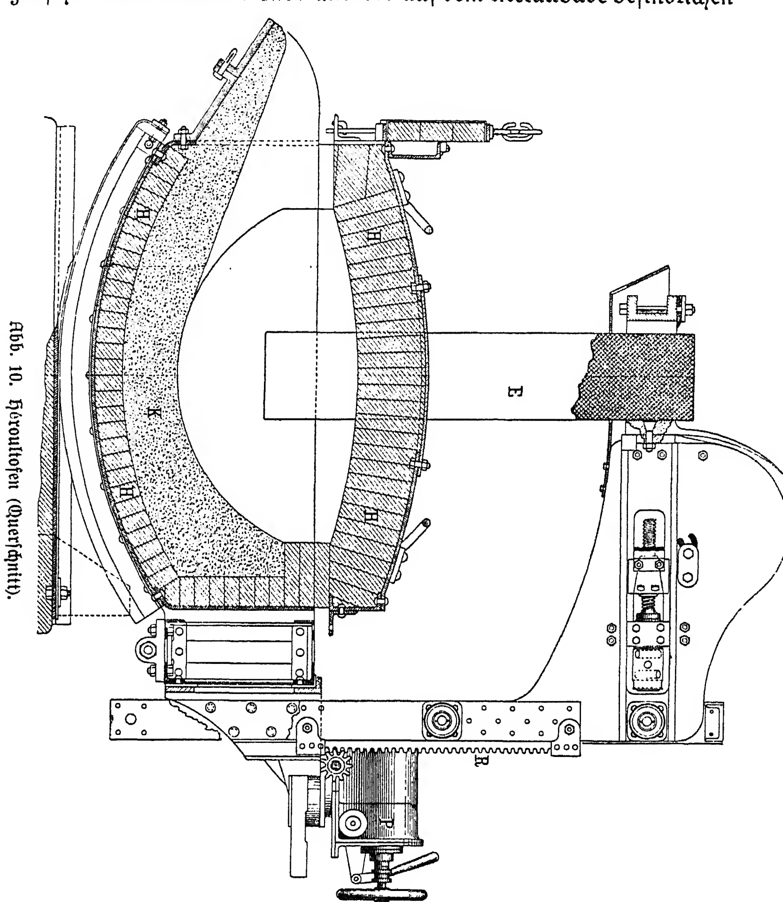


Abb. 10. Héroultofen (Querschnitt).

Schlackendecke einen Lichtbogen, strömt durch Schlacke und Metall und geht zur anderen Elektrode unter Bildung eines zweiten Lichtbogens wieder hinaus. Die Schlackenschicht ist für das Gelingen des Prozesses notwendig, weil das Eisen sonst begierig den durch den Strom aus den Elektroden herausgeschleuderten Kohlenstoffdampf aufnehmen

würde. Das erzeugte Eisen wird durch einfaches Kippen des Ofens herausgegossen. Der größte bisher gebaute Héroultofen faßt einen Einsatz von 15 t.

Der Girodofen. Dieser Ofen ähnelt in seinem äußeren Aufbau sehr dem Héroultofen. Bei ihm besteht aber nur der eine Pol in Kohlenelektroden, die durch das Deckengewölbe in den Schmelzraum hineinhängen, während der zweite Pol durch mehrere aus weichem Flußeisen bestehende Elektroden gebildet wird, die durch den Boden des Herdes in das flüssige Metallbad hineinragen. Die flußeisernen Bodenelektroden werden, um ein zu weit gehendes

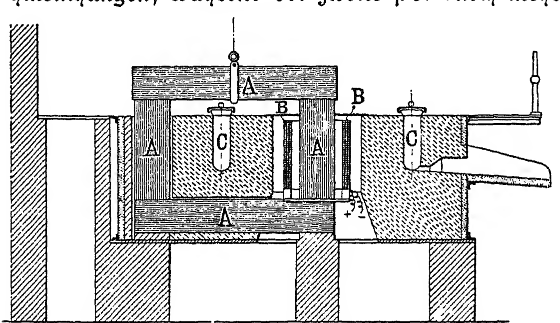


Abb. 11. Kjellinofen (Vertikalschnitt).

Abschmelzen zu verhindern, mit Wasser gekühlt. Der elektrische Strom geht von der Kohlenelektrode unter Bildung des die Schmelzhitze gebenden Lichtbogens auf die Schlackenschicht über, durchfließt diese und das Metallbad und geht durch die Bodenelektroden wieder aus dem Ofen hinaus. Der größte Girodofen faßt gegenwärtig 12 t Einsatz.

Der Kjellinofen. Der Kjellinofen ist im Gegensatz zu den drei bisher genannten Elektrostahlöfen mit Lichtbogenheizung ein Induktionsofen. Ein solcher ist im Grunde genommen nichts anderes als ein für den vorliegenden Zweck

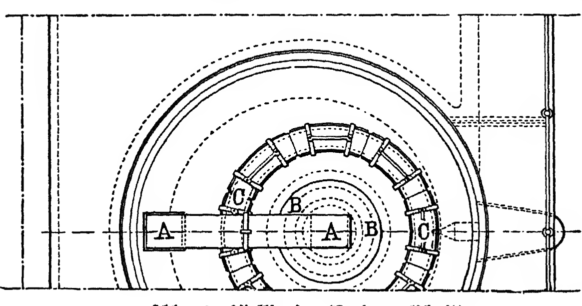


Abb. 12. Kjellinofen (Horizontalschnitt).

eigens ausgebildeter Transformator. In jedem Induktionsofen begegnet man daher auch einem Eisenkern, einer Primärspule, welche

den Eisenkern an einer Stelle umschließt, und der Sekundärwindung, die durch das Schmelzgut selbst gebildet wird.

Beim Kjellinofen, den die Abbildungen 11 und 12 im Vertikal- und Horizontalschnitt zeigen, ist der als viereckiger Rahmen ausgebildete Transformatorkern mit *AA* bezeichnet, während *BB* (im Aufriß schwarz) die Primärspule darstellt und *CC* die kreisförmige Schmelzrinne zeigt. Wird nun durch die Primärspule ein hochgespannter Wechselstrom geschickt, so entsteht in dem Schmelzgut innerhalb der Rinne ein Wechselstrom von niedriger Spannung, aber gewaltiger Stromstärke, der in dem Schmelzgut durch den Widerstand, den es ihm entgegensetzt, die erforderlichen hohen Hitzegrade hervorruft. Das größte Einsatzgewicht eines Kjellinofen betrug bisher 8,5 t.

Der Röchling-Rodenhauserofen. Die Elektrostahldarstellung in diesem Ofen beruht ebenso wie beim Kjellinofen in erster Linie auf Induktionsheizung. In den Abbildungen 13 und 14[1]), die den Ofen im Horizontal- und Vertikalschnitt darstellen, sieht man wiederum den als Rahmen ausgebildeten Eisenkern *AA*. Die primäre Wicklung *BB* ist hier zweimal vorhanden, nämlich an den beiden Schenkeln des Transformatorjochs. Dementsprechend sind auch zwei Schmelzrinnen *CC* vorhanden, die in der Mitte zusammenkommen und dort einen breiten für metallurgische Operationen sehr erwünschten Ar-

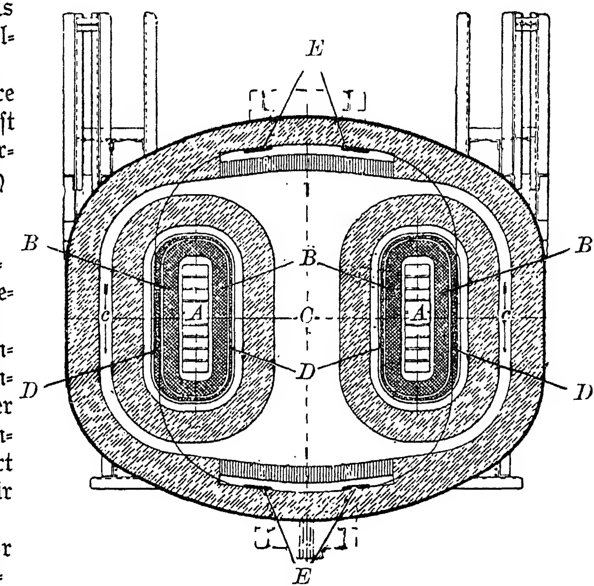


Abb. 13. Röchling-Rodenhauserofen (Horizontalschnitt).

1) Die beiden Abbildungen entstammen dem Werke: Rodenhauser u. Schoenawa, Elektrische Öfen in der Eisenindustrie. Verlag Oskar Leiner, Leipzig.

beitsherd bilden. Außer dem sekundären Induktionsstrom in dem Schmelzgut selbst wird noch in einer aus starken Kupferbändern bestehenden, den primären Stromkreis einschließenden Wicklung *DD* ein sekundärer Strom erzeugt. Dieser wird durch eine Kupferdrahtleitung zu den Polplatten *EE* geführt, die aus weichem Eisen bestehen und in der Herdwandung eingebettet sind. Bei hohen Temperaturen wird nun die sonst nicht leitende Herdwandung vor den Polplatten zum Leiter des elektrischen Stroms, so daß neben dem eigentlichen Induktionsstrom noch der aus der Kupferspule stammende sekundäre Strom durch das Schmelzgut im Herde geht und dieses ebenfalls mit heizt.

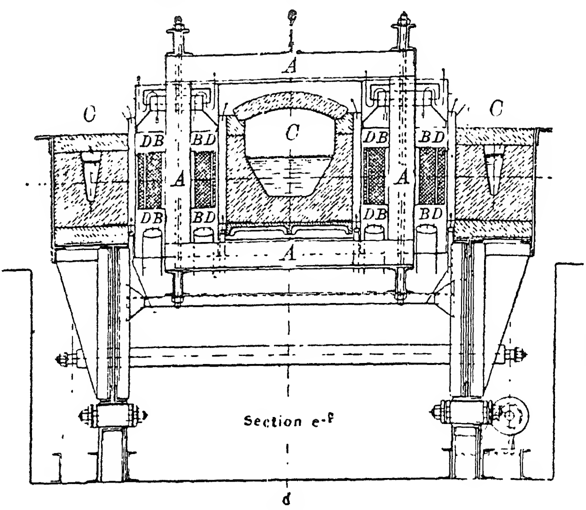


Abb. 14. Röchling-Rodenhauserofen (Vertikalschnitt).

Das Elektroflußeisen (gewöhnlich Elektrostahl genannt). Mit den elektrischen Öfen lassen sich durch Umschmelzen von weniger reinem schmiedbarem Eisen die edelsten Eisensorten von dem weichsten Flußschmiedeeisen bis zum härtesten Flußstahl erzeugen. Das Elektroeisen zeichnet sich durch höchsten Grad von Reinheit aus, es ist frei von Gas- und Schlackeneinschlüssen, hat sehr gleichmäßige Zusammensetzung und kann vollkommen phosphor- und schwefelfrei hergestellt werden. Wegen seiner Reinheit neigt es nur wenig zum Saigern im Gegensatz zu den übrigen Flußeisensorten. Auch hochwertige Konstruktions- und Werkzeugstähle mit hohem Gehalt an Nickel, Chrom, Wolfram, Molybdän lassen sich in vorzüglicher Qualität im Elektrostahlofen erzeugen.

X. Kapitel.

Die mechanische und thermische Behandlung und die Formgebung des Eisens.

1. Die mechanische und thermische Behandlung.

Das Eisen bedarf zur Verbesserung seiner Gewerbseigenschaften in vielen Fällen noch einer eingehenden mechanischen und thermischen Behandlung. Die mechanische Behandlung wird sowohl bei hohen Temperaturen, bei denen das Eisen noch glühend ist, als auch bei gewöhnlichen Temperaturen vorgenommen. Im ersteren Falle geschieht sie durch Schmieden, Pressen, Walzen und Ziehen, im letzteren durch Kalthämmern, Kaltwalzen und Kaltziehen. Die thermische Behandlung beruht auf einer Erwärmung des Eisens auf Temperaturen, die unterhalb seines Schmelzpunktes liegen.

Für die mechanische Behandlung sowohl bei hohen, als auch bei gewöhnlichen Temperaturen kommt nur schmiedbares Eisen in Betracht, weil dieses im Gegensatz zum Roheisen bei hohen Temperaturen, nämlich beim Übergang von der flüssigen in die feste Formart einen teigigen Zustand durchmacht, in dem allein eine in gewisser Hinsicht nutzbringende mechanische Einwirkung möglich ist, ferner weil es bei gewöhnlichen Temperaturen dehnbar und nicht spröde ist wie das Roheisen.

Einfluß der mechanischen Behandlung. Durch die mechanische Bearbeitung bei hohen Temperaturen werden beim Flußeisen die schädlichen Hohlräume, wie Lunker und Gasblasen, zusammengedrückt, sodaß die eingeschlossenen Gase an die Außenluft entweichen, beim Schweißeisen wird ferner noch ein großer Teil der eingeschlossenen Schlacke herausgepreßt. Dadurch erzielt man eine beträchtliche Steigerung der Festigkeit des schmiedbaren Eisens. Außerdem wird durch die mechanische Bearbeitung auch die Größe der einzelnen das Eisen aufbauenden Teilchen, die „Korngröße“ vermindert, was ebenfalls zur Erhöhung seiner Festigkeit beiträgt. Die günstigste Bearbeitungstemperatur des Eisens liegt bei etwa 900—1000° (Hellrotglut); daher das alte Sprichwort: „Schmiede das Eisen, solange es warm ist“. Würde man die Bearbeitung bei niedrigeren Temperaturen, etwa bei Dunkelrotglut vornehmen, so könnte man die Festigkeit des Eisens zwar noch mehr steigern als durch Bearbeitung

in Hellrotglut, aber nur auf Kosten seiner Zähigkeit. Die gefährlichste Temperatur für die mechanische Bearbeitung ist die „Blauhitze" (etwa 250—350°), bei der mit der größten Festigkeit auch die größte Sprödigkeit des Eisens erzielt wird. Die Kaltbearbeitung, also die Bearbeitung bei gewöhnlichen Temperaturen erhöht vor allem die Festigkeit des Eisens, während sie gleichzeitig seine Zähigkeit und elektrische Leitfähigkeit entsprechend vermindert und leicht innere Spannungen ähnlich wie bei ungleichmäßiger Abkühlung hervorruft.

Einfluß der thermischen Behandlung. Die genannten, durch Bearbeitung bei Temperaturen unterhalb Hellrotglut hervorgerufenen nachteiligen Veränderungen des Eisens können durch thermische Behandlung wieder beseitigt werden. So kann z. B. einem kaltgezogenen Draht seine beim Ziehen verlorengegangene Geschmeidigkeit und gute Leitfähigkeit für Elektrizität durch Glühen wiedergegeben werden, allerdings bei entsprechender Herabminderung seiner Festigkeit und Härte. Auch auf gegossenes schmiedbares Eisen (Stahlguß, Stahlformguß) wirkt das Ausglühen in jeder Hinsicht günstig. Es steigert sowohl seine Festigkeit als auch vor allem seine Zähigkeit. Denn das Gefüge des gegossenen Stahls, das stets grobkristallinisch ist, wird in ein gleichmäßig körniges umgewandelt und außerdem werden die schädlichen Gußspannungen (s. S. 34), welche durch die sehr große Schwindung des gegossenen Stahls hervorgerufen werden, teilweise wieder aufgehoben. Die geeignetste Glühtemperatur ist rund 900°.

Eine besondere Art des Ausglühens ist das Anlassen, durch das man die Wiedererlangung der Zähigkeit abgeschreckter Stahlsorten bezweckt. Nach Seite 30 beruht das Stahlhärten durch Abschrecken aus hohen Temperaturen darauf, daß durch die Geschwindigkeit der Abkühlung die Bildung von Perlit (inniges Gemisch von Eisenkarbid und α-Eisen) mit eingelagertem Zementit bzw. Ferrit unterbunden wird und die Lösung von Eisenkarbid in γ-Eisen als Martensit größtenteils erhalten bleibt. Glüht man solchen sehr spröden Stahl auf Temperaturen, die weit unterhalb der Abschrecktemperaturen liegen, so wird ein mehr oder weniger großer Teil des Martensits in Perlit verwandelt, gleichzeitig werden auch etwaige Spannungen behoben. Dadurch verliert der Stahl an Sprödigkeit, büßt nebenbei aber auch ein wenig von seiner Härte ein. Durch die Art des Abschreckens und die Höhe der Anlaßtemperatur kann man auf diese Weise innerhalb bestimmter Grenzen dem Stahl die verschiedensten Härtegrade erteilen. Die Erzielung der richtigen Anlaßtemperaturen wird durch das Auf-

treten der sog. Anlaßfarben erleichtert, die beim Glühen durch Bildung ganz dünner Oxydhäutchen an der Oberfläche des blank polierten Stahls entstehen und je nach der Temperatur von hellgelb in dunkelgelb, braun, rot, violett, dunkelblau, hellblau und grau übergehen.

Beim Roheisen bewirkt das Glühen bei Luftabschluß ohne Beisein sauerstoffabgebender Stoffe (eigentliches Tempern) durch die Zerlegung des Zementits (Fe_3C) in Ferrit und Temperkohle (s. S. 28) größere Weichheit und daher leichtere Bearbeitbarkeit des Eisens, jedoch geht im Gegensatz zum schmiedbaren Eisen die Festigkeit des Roheisens hierbei zurück und zwar lediglich durch Zwischenlagerung der wenig festen Temperkohle und durch Bildung grobkörnigen Gefüges.

2. Die Formgebung.

Die Formgebung des Eisens kann auf Grund seiner Geschmeidigkeit und auf Grund seiner Schmelzbarkeit geschehen. Im ersteren Falle erfolgt sie durch die bereits genannten Verfahren der mechanischen Bearbeitung, d. h. durch Schmieden, Pressen, Walzen, Ziehen in erhitztem Zustande und durch Kalthämmern, Kaltwalzen und Kaltziehen bei gewöhnlichen Temperaturen. Somit geht die Formgebung auf Grund der Geschmeidigkeit des Eisens Hand in Hand mit der mechanischen Bearbeitung. Daher kommt wie für diese auch für jene nur schmiedbares Eisen in Betracht. Die Formgebung des Eisens auf Grund seiner Schmelzbarkeit erfolgt durch das Gießen. Zum Gießen eignet sich sowohl flüssiges Roheisen (Eisengießerei) als auch flüssiges schmiedbares Eisen (Stahlgießerei).

Schmieden. Das Schmieden ist das älteste Verfahren zur Formgebung des Eisens. Es beruht, wie ein jeder leicht in einer Dorfschmiede beobachten kann, einfach auf Zusammendrücken des auf dem Amboß liegenden glühenden Eisenstückes durch Hammerschläge. Je größer das zu bearbeitende Stück ist, desto schwerer muß der Hammer sein, um die richtige Schmiedewirkung in jedem Teile des Stücks zu erzielen. So gibt es denn von dem kleinsten mit der Hand geschwungenen Hammer aufwärts alle Größen bis hinauf zu dem mächtigen Dampfhammer von 150000 kg Fallgewicht. Aber selbst mit solch ungeheuren Kolossen, die mit ihren Schlägen in der ganzen Nachbarschaft starke Erschütterungen hervorrufen, erreicht man bei sehr großen Schmiedestücken nicht die gewünschte Wirkung. Das ist leicht erklärlich, denn das zu bearbeitende Material gebraucht eine gewisse Zeit, um der Druckwirkung bis ins Innere hinein nachzugeben. Je dicker das Stück ist, desto längere Zeit beansprucht es naturgemäß

hierfür. Ein Hammerschlag ist aber von kurzer Dauer und so wirkt er mehr auf die zur Oberfläche hin liegenden Teile, als auf den inneren Kern eines großen Stücks. Die Dampfhämmer, die auch sonst noch Nachteile haben, sind daher vielfach in letzter Zeit durch die Schmiedepressen verdrängt worden, vor allem da, wo es sich um die Bearbeitung sehr großer Eisenstücke handelt.

Pressen. Die durch Wasserdruck (hydraulisch) betriebenen Schmiedepressen wirken im Gegensatz zu den kurzen wuchtigen Hammerschlägen durch langsamen und ruhigen, aber gewaltigen Druck, der bis in den innersten Kern des Schmiedestücks eindringt. Man hat Pressen in Betrieb, die einen Druck bis zu 14 Millionen Kilogramm auszuüben vermögen. Mit einem einzigen Druck der Presse kann man die Wirkung mehrerer Schläge des Dampfhammers ersetzen und erspart daher Zeit- und Arbeitsverluste. Zudem werden die schädlichen und die Umgebung belästigenden Erschütterungen gänzlich vermieden und die zur Abschwächung derselben erforderlichen sehr starken Fundamente können durch leichter gebaute ersetzt werden. Die Pressen werden hauptsächlich zur Verarbeitung solcher schweren Flußeisenblöcke verwendet, aus denen große Wellen, Geschützrohre und dgl. hergestellt werden.

Walzen. Das dritte Verfahren zur Formgebung und gleichzeitigen mechanischen Bearbeitung des schmiedbaren Eisens durch Druck ist das Walzen. Hierbei wird das Eisen oft in vollständig gebrauchsfertige Formen gebracht. Auf den Hüttenwerken walzt man Stabeisen (Quadrat-, Flach-, Band-, Rundeisen), ferner die verschiedenartigsten Schienen für alle Eisenbahnen (auch Straßen- und Grubenbahnen), Profileisen und Träger für Bauwerke aller Art, dann Draht bis herab zu 4 mm Durchmesser, alle Arten Bleche von den feinsten unter 1 mm dünnen bis hinauf zu den 200 bis 300 und 400 mm starken Panzerplatten, ferner zahlreiche Arten Rohre, schließlich Eisenbahnradreifen (Bandagen) u. a. m. Alle diese Erzeugnisse bezeichnet man als Fertigfabrikate. Außerdem werden auch noch die verschiedensten Halbfabrikate gewalzt z. B. große Blöcke mit quadratischem und Brammen mit rechteckigem Querschnitt, Knüppel (Stäbe von mittelgroßem Querschnitt) und Platinen (Flachstäbe).

Beim Walzvorgang wird das Eisen im allgemeinen in zwei wagerecht liegende, sich entgegengesetzt drehende zylindrische Körper (Walzen) eingeführt, infolge der Reibung von diesen erfaßt und durch sie hindurchgezwängt. Dabei wird das Eisenstück unter Querschnittsverminderung zusammengedrückt und gestreckt (vgl. Abb. 15). Die

Walzen liegen mit ihren Laufzapfen in kräftigen eisernen Gestellen, den sogen. **Walzenständern** (vgl. Abb. 20), von denen mindestens je zwei ein **Walzgerüst** bilden. Ein Walzgerüst mit den darin gelagerten Walzen nennt man **Walzwerk**, eine Reihe von Walzwerken, die zur Darstellung eines bestimmten Fabrikats notwendig zusammengehören, bilden eine **Walzenstraße**. Eine Walzanlage in ihrer Gesamtheit bezeichnet man ebenfalls als **Walzwerk**.

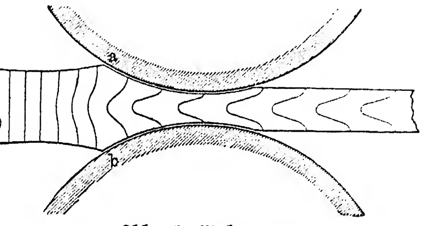


Abb. 15. Walzvorgang.

Die Walzen haben folgende Hauptbestandteile: den Bund oder Ballen *a*, die Laufzapfen *b* und die Kupplungszapfen *c* (Abb. 16). Der Ballen einer Walze kann entweder wie in Abb. 16 ein glatter Zylinder sein oder er enthält wie bei den beiden Walzen in Abb. 17 ringsum laufende Furchen. Die durch jene Furchen zwischen den zwei Walzen gebildeten Hohlräume heißen **Kaliber**. Mit den glatten Walzen werden plattenförmige Körper (Bleche) erzeugt, mit den Kaliberwalzen Körper mit bestimmten Profilen (Schienen, Träger u. v. a.).

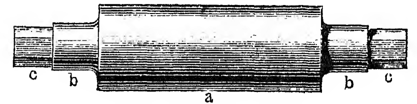
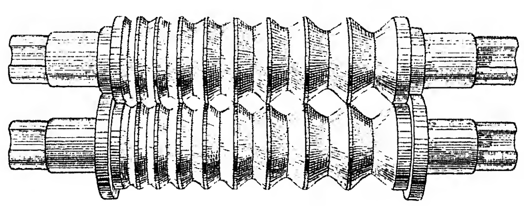


Abb. 16. Glatte Walze.


Abb. 17. Kaliberwalzen.

Als Ausgangsprodukt der zu erzeugenden Gegenstände im Walzwerk benutzt man im allgemeinen die im Thomas- oder Martinwerk in Kokillen gegossenen mehr oder weniger starken Blöcke. Diese Blöcke kann man natürlich nicht mit einem einzigen Durchgang (Stich) durch ein Walzenpaar in die gewünschte Form, etwa in eine Eisenbahnschiene bringen. Wollte man dies gewaltsam erzwingen, so würde das Eisen trotz seiner großen Dehnbarkeit im erhitzten Zustande zerreißen oder die Walzen würden in Stücke springen. Andererseits kann man die Blöcke im Stahlwerk nicht in Kokillen mit so geringem

Querschnitt gießen, daß sie leicht mit einem einzigen Stich in das fertige Enderzeugnis gebracht werden können. Das würde auch gar keinen Zweck haben, weil dann das Eisen nicht hinreichend durchgearbeitet werden würde. Das Walzgut muß also unter allen Umständen unter allmählicher Querschnittsveränderung gestreckt werden. Dabei kühlt es sich naturgemäß mehr und mehr ab, so daß es in vielen Fällen zwischendurch mehrmals erhitzt werden muß. Um die Kosten hierfür zu sparen, muß man darauf bedacht sein, das Walzen so schnell als möglich durchzuführen, damit das Walzgut vom Rohblock bis zum Fertigerzeugnis womöglich in einer einzigen Hitze vonstatten gehen kann. Durch die Vervollkommnung der Walzvorrichtungen und der Transportmittel beim Walzwerksbetriebe hat man dieses Ziel in vielen Fällen erreicht.

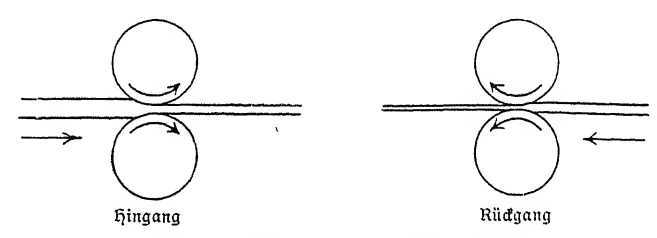


Abb. 18. Walzvorgang beim Umkehrwalzwerk.

Bei Massenherstellung von bestimmten Halb- oder Fertigfabrikaten wendet man zur Beschleunigung der Walzarbeit mit großem Vorteil die kontinuierlichen Walzwerke an, bei denen in bestimmter Anordnung eine große Zahl von Walzgerüsten aufgestellt ist. In jedem derselben wird das Walzgut nur einmal durchgewalzt, um dann sogleich zum folgenden Walzgerüst weitergegeben zu werden und dort einen geringeren Querschnitt zu erhalten, bis schließlich die gewünschte Endform erzielt ist. Bei Walzungen von Gegenständen, die nicht in sehr großen Mengen verwalzt werden, würde die Anlage und der Betrieb eines kontinuierlichen Walzwerks naturgemäß viel zu kostspielig werden. Deswegen bringt man das Walzgut in solchen Fällen mehrmals durch ein und dasselbe Gerüst, indem man den zwei oder drei darin befindlichen Walzen wie in Abb. 20 eine ganze Reihe von Kalibern gibt, von denen jedes einen geringeren Querschnitt als das daneben liegende hat.

Je nachdem in einem Walzgerüst zwei oder drei Walzen übereinander liegen, spricht man von Zwei- oder Duowalzwerken bzw. Drei-

oder Triowalzwerken. Bei einem Zweiwalzwerk müßte das Walzgut, nachdem es durch die Walzen gegangen ist, immer wieder über dieselben zurückgegeben werden, um von neuem hindurchgeschickt zu werden. Dies würde aber große mit Abkühlung des Eisens verbundene Zeitverluste bedeuten, außerdem würde sich dies bei sehr großen Stücken, wie schweren Blöcken und Panzerplatten, nur schwierig bewerkstelligen lassen. Daher richtet man Zweiwalzwerke oft als sog. Kehr- oder Reversierwalzwerke ein, bei denen die Drehungsrichtung der Walzen nach jedem Durchgange des Eisens durch Umsteuerung der Antriebsmaschinen umgekehrt wird. (Vgl. Skizze Abb. 18). Will man das Umsteuern der Walzen umgehen, so kann man zur Vermeidung von Zeitverlusten statt der Kehr-Zweiwalzwerke die Dreiwalzwerke anwenden. Bei diesen findet die Drehung, wie aus der Skizze Abb. 19 hervorgeht, stets nach derselben Richtung hin statt. Beim Hingang wird das Walzgut durch die beiden unteren Walzen gegeben, beim Rückgang durch die beiden oberen.

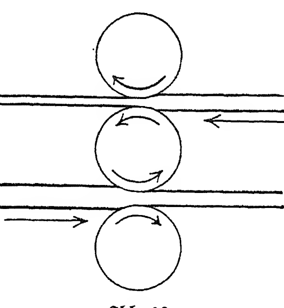


Abb. 19.
Walzvorgang beim Dreiwalzwerk.

Die Walzen werden durch die sog. Walzenzugmaschinen mittels Zahnradübertragung in Umdrehung versetzt. Die Betriebskraft für diese Maschinen ist Dampf oder Elektrizität. Die Abbildung 20 veranschaulicht den Antrieb eines Dreiwalzwerks. Hierin bezeichnet man die drei mit Winkelzähnen versehenen Zahnräder, die in einem besonderen Gerüst (*m*) liegen, mit Kammwalzen. Die mittelste dieser Kammwalzen wird direkt von der Walzenzugmaschine angetrieben. Sie versetzt durch Eingreifen ihrer Zähne auch die beiden

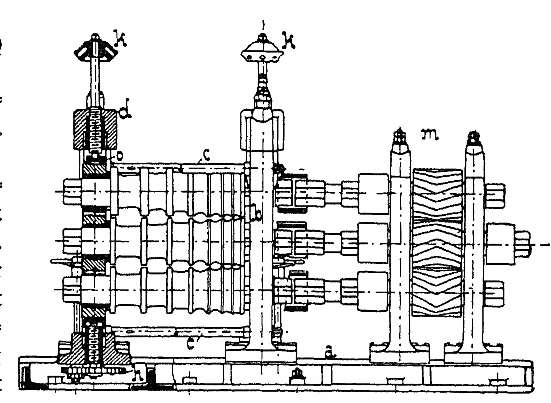


Abb. 20. Dreiwalzwerk.

übrigen Kammwalzen in Drehung. Alle drei Kammwalzen sind durch Kupplungen mit den drei Arbeitswalzen verbunden und übertragen dadurch ihre Drehbewegung auf jene.

Neben den Walzwerken mit wagerecht und parallel gelagerten Walzen gibt es noch die verschiedensten Sonderwalzwerke, wie z. B. die Universalwalzwerke, die neben den wagerechten Walzen auch noch senkrechte haben und zur Herstellung sehr langer Blechstreifen von rechteckigem Querschnitt und scharf begrenzten Kanten dienen, ferner das Grey- und das Sackwalzwerk zur Herstellung großer |—|-Träger, dann die Walzwerke für Eisenbahnradreifen (Bandagen) und Eisenbahnscheibenräder, schließlich die Walzwerke zur Herstellung nahtloser Röhren nach dem Mannesmannschen und Ehrhardtschen Verfahren u. a. m.

Eisen- und Stahlgießerei. Bei der Eisengießerei schmilzt man das im Hochofen dargestellte Roheisen meist in sog. Kupolöfen, in besonderen Fällen wohl auch in Flamm- oder Tiegelöfen um. Ein Kupolofen ist weiter nichts als ein großer Zylinder mit einem Durchmesser von $^1/_2$—1 m. Er ist aus feuerfesten Steinen aufgebaut und wird mit einem Mantel aus Eisenblech zusammengehalten. Zur Beschickung hat der Ofen im oberen Teile eine Gichtöffnung, die für gewöhnlich 4—6 m über dem Abstichloch liegt. Im unteren Teile hat er ähnlich wie ein Hochofen eine größere Anzahl Winddüsen, durch die der kalte Gebläsewind unter geringem Druck und in verhältnismäßig großer Menge durch sog. Kapselgebläse oder Ventilatoren eingepreßt wird. Unterhalb der Düsen befindet sich der Schlackenstich und am Boden des Ofens das Abstichloch für das geschmolzene Eisen.

Das umzuschmelzende Roheisen wird einschließlich des die Schmelzhitze erzeugenden Koks und eines Kalkzuschlags, der den Aschengehalt des Koks verschlacken und den Schwefel binden soll, oben durch die Beschickungsöffnung in den Ofen gegeben. Das umgeschmolzene Roheisen wird aus dem Kupolofen in eine größere tragbare oder fahrbare Gießpfanne abgestochen. Aus dieser wird das Eisen bei Herstellung großer Gußstücke entweder unmittelbar in die Formen abgegossen oder es wird mittels großer Gießlöffel daraus geschöpft.

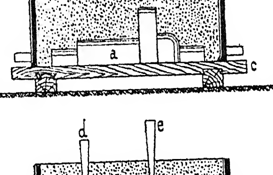
Zur Herstellung der Gußwaren benutzt man im allgemeinen einmalige Gußformen, d. h. solche, die nach Beendigung des Gusses wieder zerstört werden. Nur ausnahmsweise macht man von dauernden Gußformen aus Eisen Gebrauch, z. B. bei sog. Hartguß, bei dem durch die plötzliche Abkühlung an der eisernen Form die außen gelegenen Teile des flüssigen Roheisens zu hartem weißem Eisen er-

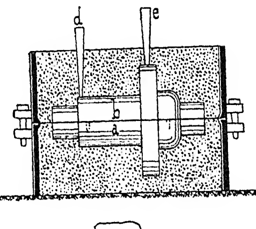
starren, während das Innere langsam zu grauem Eisen kristallisiert. An die Stoffe, aus denen die einmaligen Gußformen hergestellt werden, stellt man verschiedene Anforderungen. Sie müssen zunächst bildsam sein, damit man sie in bestimmte Formen bringen kann, sodann müssen sie dem Druck des eingegossenen flüssigen Eisens standhalten können; ferner verlangt man Feuerbeständigkeit von ihnen, d. h. sie dürfen durch das glutflüssige Eisen nicht Veränderungen erleiden, durch die sie ihren Zusammenhang verlieren; schließlich müssen sie gasdurchlässig sein, damit die beim Gießen sich entwickelnden Gase nach außen entweichen können. Als Formstoffe, die diese Eigenschaften aufweisen, dienen Formsande (Sande mit 5—30% Ton), ferner Lehm, d. i. ein sandiger, stark mit Eisenoxydhydrat verunreinigter Ton, schließlich die sog. Masse, eine Mischung aus gebranntem und frischem feuerfestem Ton. Den mageren (tonarmen) Formsanden wird stets Kohlenstaub zugesetzt, um beim Guß ein Zusammenfritten der einzelnen Sandkörner und ein Anbrennen derselben an das glutflüssige Eisen zu verhindern. Die Masse wird zu demselben Zweck mit Koksmehl und Graphit gemengt. Außerdem werden die Masseformen innen zur Verhinderung des Anbrennens an das Eisen stets mit Schwärze, einem graphitreichen mit Wasser angerührten Gemisch verschiedener Stoffe überzogen. Während die aus mageren Formsanden hergestellten Formen in feuchtem Zustande mit dem Eisen gefüllt werden müssen (Formen aus „grünem Sand"), werden die Formen aus fettem Sande, Lehm oder Masse stets erst getrocknet. Hierbei würde reiner Lehm schwinden, d. h. er würde unter Rissebildung stark zusammenschrumpfen; er muß daher vorher mit Magerungsmitteln versetzt sein, die dem Schwinden entgegenwirken ohne zugleich seine Bildsamkeit zu beeinträchtigen. Am geeignetsten sind dafür Pferde- und Kuhdünger. Bei der Masse wird das Schwinden durch den gebrannten Ton verhindert. Zur Herstellung der Gußformen aus den genannten Formstoffen gibt es zwei Verfahren: Die Modellformerei und die Schablonenformerei. Bei der Modellformerei bedient man sich im allgemeinen hölzerner Modelle und, wenn sie sehr oft gegossen werden sollen, auch metallener. Das Modell muß die Gestalt des zu gießenden Gegenstandes haben, aber um so viel größere Abmessungen erhalten, als das Schwindmaß des Eisens beträgt (Vgl. S. 33).

Am einfachsten und billigsten ist der **Herdguß**, der für solche Gegenstände in Betracht kommt, die auf einer Seite durch eine ebene Fläche begrenzt sind, wie z. B. Fenstergitter u. dgl. Beim Herdguß wird ein Sandbett auf der Sohle der Gießerei ausgebreitet und die

Gußform einfach durch Eindrücken des Modells in den Sand hergestellt.

Gegenstände, die sich nicht durch den Herdguß anfertigen lassen, werden durch den Kastenguß ebenfalls mit Hilfe von Modellen hergestellt. Hierbei geht das Einformen der Modelle in Sand oder Masse innerhalb von eisernen Rahmen (Kästen) vor sich. Die Modelle haben oftmals solche Gestalt, daß man sie aus der Form nur dann entfernen kann, wenn man sie selbst sowohl als auch die Kästen zwei- oder mehrteilig macht. Wenn ein Gußstück wie z. B. ein Rohr, eine Höhlung erhalten soll, so erzielt man diese oft dadurch, daß man einen besonderen „Kern" von der Gestalt des Hohlraums anfertigt und ihn nach Entfernung des Modells in die Form einsetzt.





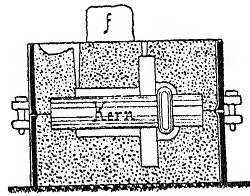


Abb. 21 bis 23.
Kastenformerei mit Modellen.

Als Beispiel für die Ausführung der Kastenformerei mag die Herstellung der Form für eine Stopfbüchse gelten, die durch die Abbildungen 21, 22, 23 veranschaulicht wird. Die untere Modellhälfte a wird mit der Unterseite nach oben auf das Modellbrett c gelegt und der Unterkasten umgekehrt darüber gesetzt; dann wird Formsand hineingefüllt und festgestampft (vgl. Abb. 21). Darauf wird das Ganze umgekehrt, sodaß das Brett nach oben zu liegen kommt und abgenommen werden kann. Nach Glätten der Oberfläche wird die obere Modellhälfte b auf der unteren befestigt, der Oberkasten auf den Unterkasten gesetzt und mit Sand gefüllt (vgl. Abb. 22). Dabei müssen durch Einsetzen zweier kleiner Holzmodelle d und e zwei Öffnungen ausgespart werden, von denen die erste als Einguß für das flüssige Eisen, die zweite als sog. Windpfeife dient, aus der die beim Gießen sich bildenden Gase entweichen können. Nach Entfernen der Modelle für Einguß und Windpfeife, wird ersterer oben etwas erweitert (vgl. Abb. 23), damit der Strahl flüssigen Eisens nicht von der Pfanne aus unmittelbar in die Form strömt wodurch er sie leicht beschädigen könnte. Nach Beendigung diese[r] Arbeiten wird der Oberkasten wieder abgehoben und aus beide[n] Kästen werden die Modelle vorsichtig unter Klopfen herausgezoge[n]. Alsdann wird die Ausbesserung der beschädigten Stellen vorgenomme[n], die Form ausgestaubt und der Kern eingelegt. Darauf wird de[r]

Oberkasten wieder sorgfältig auf den Unterkasten gesetzt und mit einem Eisenstück f beschwert, damit das flüssige Eisen beim Eingießen den Ober- und Unterkasten nicht auseinandertreibt.

Das Einformen, Ausheben und Ausbessern der Formen erfordert viel Zeit und große Geschicklichkeit der Arbeiter und ist mit verhältnismäßig hohen Kosten verbunden. Um die Herstellung der Gußformen zu beschleunigen und zu verbilligen, wendet man daher bei Anfertigung größerer Mengen ein und desselben Gegenstands vorteilhaft Modellplatten an. Eine Modellplatte ist ein Modellbrett, das mit der darauf liegenden Modellhälfte — meist sind es gleich mehrere solcher Modellhälften — fest vereinigt ist. Die Platte sowohl als die Modellhälften selbst bestehen aus Metall (Eisen oder Bronze). Auf einer zweiten entsprechenden Modellplatte befinden sich die dazugehörigen Modellhälften und zwar so angeordnet, daß wenn man Oberkasten und Unterkasten nach Entfernung der Modellplatten zusammensetzt, die Formhälften genau aufeinander passen. Dadurch fällt alles zeitraubende Einpassen fort. Außerdem kann man die Modellplatte durch senkrecht an ihr oder auf dem Kasten angebrachte Stifte (Dübel), die in entsprechende Löcher des Kastens oder der Platte greifen, genau senkrecht aus der Form entfernen, so daß letztere vor Beschädigungen besser bewahrt bleibt und nicht so viele langwierige Ausbesserungen nötig sind. Um das Auseinanderziehen von Modellplatten und Formen noch sicherer und schneller zu vollziehen, bedient man sich in vorteilhaftester Weise der Formmaschinen, die oft zugleich auch das Verdichten des Sandes besorgen.

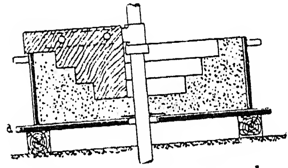


Abb. 24. Schablonenformerei.

Das zweite Verfahren der Formerei, die Schablonenformerei, wird meist zur Herstellung solcher großer Körper verwendet, deren Form im Sande oder Lehm durch Umdrehung einer Schablone um eine feste Achse entstehen kann. Bei der Schablonenformerei kommen die kostspieligen Modelle in Fortfall, sie erfordert jedoch große Geschicklichkeit der Arbeiter. Aus Abbildung 24 geht hervor, wie die Schablonenformerei gehandhabt wird. Es handelt sich hier um Herstellung der Unterform eines Scheibenrades. Der Unterkasten wird zunächst auf die Eisenplatte a gestellt und mit dem Formstoff gefüllt. Sodann wird durch Drehen der Schablone um die Spindel, die durch die Platte a hindurchragt, die Form aus dem Sande ausgedreht.

Bei der Stahlgießerei wird das zu vergießende schmiedbare

Eisen im Siemens-Martinofen, in der Kleinbessemerbirne, im Tiegel- oder Elektrostahlofen erzeugt.

Siemens-Martinöfen zur Darstellung von Stahlguß (Stahlformguß) haben oft saure Ausfütterung. Die Fassung eines solchen Ofens beträgt zwischen 3 und 30 t. Siemens-Martinöfen sind in der Stahlgießerei nur dann wirtschaftlich, wenn sie ständig in Betrieb gehalten werden, also wenn ein möglichst großer, gleichmäßiger Bedarf an Stahl vorliegt. Ist der Bedarf an Stahl geringer und sehr schwankend, so eignen sich mehr die Kleinbessemerbirnen. Diese ähneln den Birnen des Großbetriebes und unterscheiden sich von diesen meist nur durch die Einrichtungen für die Zuführung des Windes, der nicht von unten durch den Boden sondern seitlich in die Birne eingeblasen wird. Die Tiegelstahl- und Elektrostahldarstellung wird angewendet, wenn Gußstücke hergestellt werden sollen, an deren Güte besonders hohe Anforderungen gestellt werden.

Wegen der hohen Schmelztemperaturen des schmiedbaren Eisens können für den Stahlguß nur widerstandsfähige Formen aus Masse benutzt werden. Der Stahlguß zeichnet sich gegenüber dem Eisenguß durch größere Festigkeit, Elastizität und Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Abnutzung aus bei verhältnismäßig geringem Gewicht.

Sachverzeichnis.

B. G. Teubners Handbücher für Handel und Gewerbe

Chemische Technologie. Von Dr. **Fr. Heusler.** Mit 126 Abbild. [XVI u. 354 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M* 8.–, in Leinw. geb. *M* 8.60

„. . . Die Anschaffung des Buches kann mit gutem Gewissen jedem Gebildeten empfohlen werden, der Interesse für die wichtigste unserer praktischen Wissenschaften, für die Chemie, hat, der einen Blick in ihre Werkstätten tun möchte, der sich unterrichten will, wie dieses oder jenes Fabrikat entsteht, das seiner Branche oder seiner Berufstätigkeit überhaupt fernliegt. Unbefriedigt wird das Studium des Buches niemand lassen, jeder Leser wird dem Verfasser für seinen Fleiß und seine Mühe, ein so großes Gebiet menschlichen Wissens in so anziehender Weise und so leicht verständlich geschildert zu haben, Dank wissen." **(Hamburgischer Correspondent.)**

Die chemische Industrie. Von Kais. Geh. Oberreg.-Rat **Gustav Müller.** Unter Mitwirkung von Dr. phil. **Fr. Bennigson.** [VIII u. 488 S.] gr. 8. 1909. Geh. *M* 11.20, in Leinw. geb. *M* 12.–

„. . . Man gewinnt ein aus zahlreichen Strichen zusammengesetztes Bild von der Bedeutung der chemischen Weltindustrie wie von der Beteiligung unseres eigenen Vaterlandes an derselben und sieht mit Staunen, in wie kurzer Zeit aus den schüchternsten Anfängen dieser stolze weltbeherrschende Bau emporgestiegen ist. In dem Werke steckt eine ungeheure Arbeit, und es wird namentlich auch als vielkonsultiertes Nachschlagebuch allen Interessenten von großem Werte und von vielfältigem Nutzen sein." **(Deutsche Literaturzeitung.)**

Die Zuckerproduktion der Welt. Von Geh.-Rat Prof. Dr. **H. Paasche.** [VI u. 338 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M* 7.40, in Leinw. geb. *M* 8.–

Diese umfassende Darstellung der gesamten Zuckerindustrie der Welt will unter voller Berücksichtigung der wirtschaftlichen, sozialen und politischen Verhältnisse der zahlreichen Produktionsgebiete dem Kaufmann und Industriellen einen Einblick in die Lebensbedingungen dieser über die ganze Welt verbreiteten Industrie gewähren und ihm die Wege zeigen, die der Handel mit diesem wichtigen Genußmittel eingeschlagen hat.

Sozialpolitik. Von Professor Dr. **O. v. Zwiedineck-Südenhorst.** [IX u. 450 S.] gr. 8. 1911. Geh. *M* 9.20, in Leinw. geb. *M* 10.–

„v. Zwiedineck-Südenhorst hat zunächst einen allgemeinen Teil vorangeschickt, in dem er in drei großen Abschnitten Gesellschaft und soziale Klassen, die Sozialpolitik und ihre Erscheinungsform und das Arbeitsgebiet sowie Ziele, Wege und Möglichkeiten behandelt. Erst dann folgen die einzelnen Probleme. Hier gibt der Verfasser stets außerordentlich objektive Darlegungen der Entstehung der einzelnen Fragen. Er läßt jedes Problem aus den gegebenen Tatsachen entstehen und berücksichtigt die Argumente aller Interessengruppen. So hat der Leser nie den Eindruck eines auf das Gefühl begründeten Plaidoyers, sondern sieht stets nur eine sorgfältig abwägende wissenschaftliche Untersuchung. Das Buch scheint daher gerade für Praktiker, die sich über die Grundlagen einzelner Fragen unterrichten wollen, geeignet. Aber auch dem Studenten wird es wertvolle Dienste leisten. Ein gutes Register erhöht die Brauchbarkeit." **(Deutsche Literaturzeitung.)**

Anlage von Fabriken. Von **H. Haberstroh, E. Weidlich, E. Görts** und Dr. **R. Stegemann.** Mit 271 Abbild. u. Plänen sowie 6 Tafeln. [XIII u. 528 S.] gr. 8. 1907. Geh. *M* 12.–, in Leinw. geb. *M* 12.80

Betrieb von Fabriken. Von Dr. **F. W. R. Zimmermann, A. Johanning, H. v. Frankenberg** u. Dr. **R. Stegemann.** Mit 3 Abbild. u. zahlreichen Formularen. [VI u. 436 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M* 8.–, in Leinw. geb. *M* 8.60

Die Bilanzen der privaten Unternehmungen. Mit besonderer Berücksichtigung der Aktiengesellschaften, der Bank-, Versicherungs- und Eisenbahn-Unternehmungen. Von Dr. phil. et jur. **Rich. Passow.** [XII u. 350 S.] gr. 8. 1910. Geh. *M* 8.40, in Leinwand geb. *M* 9.–

Versicherungswesen. Von Prof. Dr. **A. Manes.** [XII u. 468 S.] gr. 8. 1905. Geh. *M* 9.40, in Leinw. geb. *M* 10.–

Das Genossenschaftswesen in Deutschland. Von Professor Dr. **W. Wygodzinski.** [VI u. 287 S.] gr. 8. 1911. Geh. *M* 6.–, in Leinw. geb. *M* 6.80

Weitere Bände in Vorbereitung.

Ausführliche Prospekte umsonst und postfrei vom Verlag.

Aus Natur und Geisteswelt

Sammlung wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Jeder Band ist in sich abgeschlossen und einzeln käuflich

Jeder Band geh. M. 1.—, in Leinwand geb. M. 1.25.

Übersicht nach Wissenschaften geordnet.

Allgemeines Bildungswesen. Erziehung und Unterricht.

Das deutsche Bildungswesen in seiner geschichtlichen Entwicklung. Von weil. Prof. Dr. Friedrich Paulsen. 3 Aufl. Von Prof. Dr. W. Münch. Mit einem Bildnis Paulsens. (Bd. 100.)

Der Leipziger Student von 1409—1909. Von Dr. W. Bruchmüller. Mit 25 Abb. (Bd. 273.)

Geschichte des deutschen Schulwesens. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Bd. 85.)

Das deutsche Unterrichtswesen der Gegenwart. Von Oberrealschuldirektor Dr. K. Knabe. (Bd. 299.)

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. 3. Aufl. (Bd. 33.)

Experimentelle Pädagogik mit besonderer Rücksicht auf die Erziehung durch die Tat. Von Dr. W. A. Lay. 2. Aufl. Mit 2 Abb. (Bd. 224.)

Psychologie des Kindes. Von Prof. Dr. R. Gaupp. 3. Aufl. Mit 18 Abb. (Bd. 213.)

Moderne Erziehung in Haus und Schule. Von J. Tews. 2. Aufl. (Bd. 159.)

Großstadtpädagogik. Von J. Tews. (Bd. 327.)

Schulkämpfe der Gegenwart. Von J. Tews. 2. Aufl. (Bd. 111.)

Die höhere Mädchenschule in Deutschland. Von Oberlehrerin M. Martin. (Bd. 65.)

Vom Hilfsschulwesen. Von Rektor Dr. B. Maennel. (Bd. 73.)

Das deutsche Fortbildungsschulwesen. Von Direktor Dr. Fr. Schilling. (Bd. 256.)

Die Knabenhandarbeit in der heutigen Erziehung. Von Seminar-Dir. Dr. A. Pabst. Mit 21 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 140.)

Das moderne Volksbildungswesen. Bücher- und Lesehallen, Volkshochschulen und verwandte Bildungseinrichtungen in den wichtigsten Kulturländern in ihrer Entwicklung seit der Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Von Stadtbibliothekar Dr. G. Fritz. Mit 14 Abb. (Bd. 266.)

Die amerikanische Universität. Von Ph. D. E. D. Perry. Mit 22 Abb. (Bd. 206.)

Technische Hochschulen in Nordamerika. Von Prof. S. Müller. Mit zahlr. Abb., Karte u. Lageplan. (Bd. 190.)

Volksschule und Lehrerbildung der Vereinigten Staaten. Von Dir. Dr. F. Kuypers. Mit 48 Abb. u. 1 Titelbild. (Bd. 150.)

Deutsches Ringen nach Kraft und Schönheit. Aus den literarischen Zeugnissen eines Jahrhunderts gesammelt. Von Turninspektor K. Möller. 2 Bde. Band II: In Vorb. (Bd. 188/189.)

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Jugend-Fürsorge. Von Waisenhaus-Direktor Dr. J. Petersen. 2 Bde. (Bd. 161. 162.)

Pestalozzi. Sein Leben und seine Ideen. Von Prof. Dr. P. Natorp. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis u. 1 Brieffaksimile. (Bd. 250.)

Herbarts Lehren und Leben. Von Pastor O. Flügel. Mit 1 Bildnisse Herbarts. (Bd. 164.)

Friedrich Fröbel. Sein Leben und sein Wirken. Von A. von Portugall. Mit 5 Tafeln. (Bd. 82.)

Religionswissenschaft.

Leben und Lehre des Buddha. Von weil. Prof. Dr. R. Pischel. 2. Aufl. von Prof. Dr. H. Lüders. Mit 1 Tafel. (Bd. 109.)

Germanische Mythologie. Von Prof. Dr. J. v. Negelein. 2. Aufl. (Bd. 95.)

Mystik im Heidentum und Christentum. Von Dr. E. Lehmann. (Bd. 217.)

Palästina und seine Geschichte. Von Prof. Dr. H. Freiherr von Soden. 3. Aufl. Mit 2 Karten, 1 Plan u. 6 Ansichten. (Bd. 6.)

Palästina und seine Kultur in fünf Jahrtausenden. Von Gymnasialoberlehrer Dr. P. Thomsen. Mit 36 Abb. (Bd. 260.)

Die Grundzüge der israelitischen Religionsgeschichte. Von Prof. Dr. Fr. Giesebrecht. 2. Aufl. (Bd. 52)

Die Gleichnisse Jesu. Zugleich Anleitung zu einem quellenmäßigen Verständnis der Evangelien. Von Lic. Prof. Dr. H. Weinel. 3. Aufl. (Bd. 46.)

Wahrheit und Dichtung im Leben Jesu. Von Pfarrer D. P. Mehlhorn. 2. Aufl. (Bd. 137.)

Jesus und seine Zeitgenossen. Geschichtliches und Erbauliches. Von Pastor C. Bonhoff. (Bd. 89.)

Der Text des Neuen Testamentes nach seiner geschichtlichen Entwicklung. Von Div.-Pfarrer A. Pott. Mit 8 Tafeln. (Bd. 134.)

Der Apostel Paulus und sein Werk. Von Prof. Dr. E. Vischer. (Bd. 309.)

Christentum und Weltgeschichte. Von Prof. Dr. K. Sell. 2 Bde. (Bd. 297. 298.)

Aus der Werdezeit des Christentums. Studien und Charakteristiken. Von Prof. Dr. J. Geffcken. 2. Aufl. (Bd. 54.)

Luther im Lichte der neueren Forschung. Ein kritischer Bericht. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 2. Aufl. Mit 2 Bildn. Luthers. (Bd. 113.)

Johann Calvin. Von Pfarrer Dr. G. Sodeur. Mit 1 Bildnis. (Bd. 247.)

Die Jesuiten. Eine historische Skizze. Von Prof. Dr. H. Boehmer. 2. Aufl. (Bd. 49.)

Die religiösen Strömungen der Gegenwart. Von Superintendent D. A. H. Braasch. 2 Auflage. (Bd 66.)

Die Stellung der Religion im Geistesleben. Von Lic. Dr. P. Kalweit. (Bd. 225.)

Religion und Naturwissenschaft in Kampf und Frieden. Ein geschichtlicher Rückblick. Von Dr. A. Pfannkuche. 2. Aufl. (Bd. 141.)

Einführung in die Theologie: Pastor M. Cornils. (Bd. 347.)

Philosophie und Psychologie.

Einführung in die Philosophie. Von Prof. Dr. R. Richter. 2. Aufl. (Bd. 155.)

Die Philosophie. Einführung in die Wissenschaft, ihr Wesen und ihre Probleme. Von Realschuldirektor H. Richert. (Bd. 186.)

Aesthetik. Dr. R. Hamann (Bd. 345.)

Führende Denker. Geschichtliche Einleitung in die Philosophie Von Prof. Dr. J. Cohn. 2. Aufl. Mit 6 Bildn. (Bd. 176.)

Griechische Weltanschauung. Von Privatdoz. Dr. M. Wundt. (Bd. 329.)

Die Weltanschauungen der großen Philosophen der Neuzeit. Von weil. Prof. Dr L. Busse. 5. Aufl., herausgegeben von Prof. Dr. R. Falckenberg. (Bd. 56.)

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Eine Charakteristik ihrer Hauptrichtungen. Von Prof. Dr O. Külpe. 5. Aufl. (Bd. 41.)

Rousseau. Von Prof. Dr. P. Hensel. Mit 1 Bildn. (Bd. 180.)

Immanuel Kant. Darstellung und Würdigung. Von Prof. Dr. O. Külpe. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 146.)

Schopenhauer. Seine Persönlichkeit, seine Lehre, seine Bedeutung. Von Realschuldirektor H. Richert. 2. Aufl. Mit 1 Bildnis. (Bd. 81.)

Herbert Spencer. Von Dr. K. Schwarze. Mit 1 Bildn. (Bd. 245.)

Aufgaben und Ziele des Menschenlebens. Von Dr. J. Unold. 3. Aufl. (Bd. 12.)

Sittliche Lebensanschauungen der Gegenwart. Von weil. Prof. Dr. O. Kirn. 2. Aufl. (Bd. 177.)

Die Mechanik des Geisteslebens. Von Prof. Dr. M. Verworn. 2. Aufl. Mit 18 Fig. (Bd. 200.)

Die Seele des Menschen. Von Prof. Dr. J. Rehmke. 3. Aufl. (Bd. 36.)

Hypnotismus und Suggestion. Von Dr. E. Trömner. (Bd. 199.)

Literatur und Sprache.

Die Sprachstämme des Erdkreises. Von weil. Prof. Dr. F. N. Finck. (Bd. 267.)

Die Haupttypen des menschlichen Sprachbaues. Von weil. Prof. Dr. F. N. Finck. (Bd. 268.)

Rhetorik. Richtlinien für die Kunst des Sprechens. Von Dr. E. Geißler. (Bd. 310.)

Wie wir sprechen. Von Dr. E. Richter. (Bd. 354.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Die deutschen Personennamen. Von Direktor A. Bähnisch. (Bd. 296.)

Das deutsche Volkslied. Über Wesen und Werden des deutschen Volksgesanges. Von Dr. J. W. Bruinier. 4. Aufl. (Bd. 7.)

Die deutsche Volkssage. Von Dr. O. Böckel. (Bd. 262.)

Das Theater. Schauspielhaus und Schauspielkunst vom griech. Altertum bis auf die Gegenwart. Von Dr. Chr. Gaehde. Mit 20 Abb. (Bd. 230.)

Das Drama. Von Dr. B. Busse. Mit Abbildungen. 2 Bde. (Bd. 287/288.)

Bd. I: Von der Antike zum französischen Klassizismus. (Bd. 287.)

Bd. II: Von Versailles bis Weimar. (Bd. 288.)

Geschichte der deutschen Lyrik seit Claudius. Von Dr. H. Spiero. (Bd. 254.)

Schiller. Von Prof. Dr. Th. Ziegler. Mit Bildnis Schillers. 2. Aufl. (Bd. 74.)

Das deutsche Drama des neunzehnten Jahrhunderts. In seiner Entwicklung dargestellt von Prof. Dr. G. Witkowski. 3. Aufl. Mit 1 Bildn. Hebbels (Bd. 51.)

Deutsche Romantik. Von Prof. Dr. O. F. Walzel. 2. Aufl. (Bd. 232.)

Friedrich Hebbel. Von Dr. A. Schapire-Neurath. Mit 1 Bildn. Hebbels. (Bd. 238.)

Gerhart Hauptmann. Von Prof. Dr. E. Sulger-Gebing. Mit 1 Bildn. Gerhart Hauptmanns. (Bd. 283.)

Henrik Ibsen, Björnstjerne Björnson und ihre Zeitgenossen. Von weil. Prof. Dr. B. Kahle. Mit 7 Bildn. (Bd. 193.)

Shakespeare und seine Zeit. Von Prof. Dr. E. Sieper. Mit 3 Taf. u. 3 Textb. (Bd. 185.)

Bildende Kunst und Musik.

Bau und Leben der bildenden Kunst. Von Dir. Prof. Dr. Th. Volbehr. Mit 44 Abb. (Bd. 68.)

Die Ästhetik. Von Dr. R. Hamann. (Bd. 345.)

Die Entwicklungsgeschichte der Stile in der bildenden Kunst. Von Dr. E. Cohn-Wiener. 2 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 317/318.)

Band I: Vom Altertum bis zur Gotik. Mit 57 Abb. (Bd. 317.)

Band II: Von der Renaissance bis zur Gegenwart. Mit 31 Abb. (Bd. 318.)

Die Blütezeit der griechischen Kunst im Spiegel der Reliefsarkophage. Eine Einführung in die griechische Plastik. Von Dr. H. Wachtler. Mit 8 Taf. u 32 Abb. (Bd. 272)

Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. A. Matthaei. 3. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 8.)

Deutsche Baukunst seit dem Mittelalter bis zum Ausgang des 18. Jahrhunderts. Von Prof Dr. A. Matthaei. Mit 62 Abb. u. 3 Taf. (Bd. 326.)

Die deutsche Illustration. Von Prof. Dr. R. Kautzsch. Mit 35 Abb. (Bd. 44.)

Deutsche Kunst im täglichen Leben bis zum Schlusse des 18. Jahrhunderts. Von Prof. Dr B. Haendcke. Mit 63 Abb. (Bd. 198.)

Albrecht Dürer. Von Dr. R. Wustmann. Mit 33 Abb. (Bd. 97.)

Rembrandt. Von Prof. Dr. P. Schubring. Mit 50 Abb. (Bd. 158.)

Niederländische Malerei im 17. Jahrhundert. Von Dr. H. Jantzen. Mit zahlr. Abbild. (Bd. 373.)

Ostasiatische Kunst und ihr Einfluß auf Europa. Von Direktor Prof. Dr. R. Graul. Mit 49 Abb. (Bd. 87.)

Kunstpflege in Haus und Heimat. Von Superintendent Richard Bürkner. 2. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 77.)

Geschichte der Gartenkunst. Von Reg.-Baum. Chr. Ranck. Mit 41 Abb. (Bd. 274.)

Die Grundlagen der Tonkunst. Versuch einer genetischen Darstellung der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. Dr. H. Rietsch. (Bd. 178.)

Einführung in das Wesen der Musik. Von Prof. C. R. Hennig. (Bd. 119.)

Klavier, Orgel, Harmonium. Das Wesen der Tasteninstrumente. Von Prof. Dr. O. Bie. (Bd. 325.)

Geschichte der Musik. Von Dr. Fr. Spiro. (Bd. 143.)

Haydn, Mozart, Beethoven. Von Prof. Dr. C. Krebs. Mit 4 Bildn. (Bd. 92.)

Die Blütezeit der musikalischen Romantik in Deutschland. Von Dr. E. Istel. Mit 1 Silhouette. (Bd. 239.)

Das Kunstwerk Richard Wagners. Von Dr. E. Istel. Mit 1 Bildnis R. Wagners. (Bd. 330.)

Das moderne Orchester in seiner Entwicklung. Von Prof. Dr. Fr. Volbach. Mit Partiturbeisp. u. 2 Instrumententab. (Bd. 308.)

Geschichte und Kulturgeschichte.

Das Altertum im Leben der Gegenwart. Von Prof. Dr. P. Cauer. (Bd. 356.)

Kulturbilder aus griechischen Städten. Von Oberlehrer Dr. E. Ziebarth. 2. Aufl. Mit 23 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 131.)

Pompeji, eine hellenistische Stadt in Italien. Von Prof. Dr. Fr. v. Duhn. 2. Aufl. Mit 62 Abb. (Bd. 114.)

Soziale Kämpfe im alten Rom. Von Privatdoz. Dr. L. Bloch. 2. Aufl. (Bd. 22.)

Roms Kampf um die Weltherrschaft. Von Prof. Dr. J. Kromayer. (Bd. 368.)

Byzantinische Charakterköpfe. Von Privatdoz. Dr. K. Dieterich. Mit 2 Bildn. (Bd. 244.)

Germanische Kultur in der Urzeit. Von Prof. Dr. G. Steinhausen. 2. Aufl. Mit 13 Abb. (Bd. 75.)

Mittelalterliche Kulturideale. Von Prof. Dr. V Vedel. 2 Bde.
Bd. I: Heldenleben. (Bd. 292.)
Bd II: Ritterromantik. (Bd. 293.)

Deutsches Frauenleben im Wandel der Jahrhunderte. Von Dir. Dr. E. Otto. 2. Aufl. Mit 27. Abb. (Bd. 45.)

Deutsche Städte und Bürger im Mittelalter. Von Prof. Dr. B. Heil. 3. Aufl. Mit zahlr. Abb. u. 1 Doppeltafel. (Bd. 43.)

Historische Städtebilder aus Holland und Niederdeutschland. Von Reg.-Baum. a. D. A. Erbe. Mit 59 Abb. (Bd. 117.)

Das deutsche Dorf. Von R. Mielke. Mit 51 Abb. (Bd. 192.)

Das deutsche Haus und sein Hausrat. Von Prof. Dr. R. Meringer. Mit 106 Abb. (Bd. 116.)

Kulturgeschichte des deutschen Bauernhauses. Von Reg.-Baum. Chr. Ranck. Mit 70 Abb. (Bd. 121.)

Geschichte des deutschen Bauernstandes. Von Prof. Dr. H. Gerdes. Mit 21 Abb. (Bd. 320.)

Das deutsche Handwerk in seiner kulturgeschichtlichen Entwicklung. Von Dir. Dr. E. Otto. 3. Aufl. Mit 27 Abb. (Bd. 14.)

Deutsche Volksfeste und Volkssitten. Von H. S. Rehm. Mit 11 Abb. (Bd. 214.)

Deutsche Volkstrachten. Von Pfarrer C. Spieß. (Bd. 342.)

Familienforschung. Von Dr. E. Devrient. (Bd. 350.)

Die Münze als hist. Denkmal sowie ihre Bedeutung im Rechts- und Wirtschaftsleben. Von Prof. Dr. A. Luschin v. Ebengreuth. Mit 53 Abb. (Bd. 91.)

Das Buchgewerbe und die Kultur. Sechs Vorträge, gehalten im Auftrage des Deutschen Buchgewerbevereins. Mit 1 Abb. (Bd. 182.)

Schrift- und Buchwesen in alter und neuer Zeit. Von Prof. Dr. O. Weise. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 4.)

Das Zeitungswesen. Von Dr. H. Diez. (Bd. 328.)

Das Zeitalter der Entdeckungen. Von Prof. Dr. S. Günther. 3. Aufl. Mit 1 Weltk. (Bd. 26.)

Von Luther zu Bismarck. 12 Charakterbilder aus deutscher Geschichte. Von Prof. Dr. O. Weber. (Bd. 123. 124.)

Friedrich der Große. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. Mit 2 Bildn. (Bd. 246.)

Geschichte der Französischen Revolution. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. (Bd. 346.)

Napoleon I. Von Prof. Dr. Th. Bitterauf. 2. Aufl. Mit 1 Bildn. (Bd. 195.)

Politische Hauptströmungen in Europa im 19. Jahrh. Von Prof. Dr. K. Th. v. Heigel. 2. Aufl. (Bd. 129.)

Restauration und Revolution. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. 2. Aufl. (Bd. 37.)

Die Reaktion und die neue Ära. Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der Gegenwart. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 101.)

Vom Bund zum Reich. Neue Skizzen zur Entwicklungsgeschichte der deutschen Einheit. Von Prof. Dr. R. Schwemer. (Bd. 102.)

1848. Sechs Vorträge. Von Prof. Dr. O. Weber. 2. Aufl. (Bd. 53.)

Österreichs innere Geschichte von 1848 bis 1907. Von Richard Charmatz. 2 Bde. [I 2. Aufl.] Band I: Die Vorherrschaft der Deutschen. (Bd. 242). Band II: Der Kampf der Nationen. (Bd. 243.)

Englands Weltmacht in ihrer Entwicklung vom 17. Jahrhundert bis auf unsere Tage. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. Mit 19 Bildn. (Bd. 174.)

Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika. Von Prof. Dr. E. Daenell. (Bd. 147.)

Die Amerikaner. Von N. M. Butler. Deutsche Ausg. bes. von Prof. Dr. W. Paszkowski. (Bd. 319.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Vom Kriegswesen im 19. Jahrhundert. Von Major O. v. Sothen. Mit 9 Übersichtsk. (Bd. 59.)

Der Krieg im Zeitalter des Verkehrs und der Technik. Von Hauptmann A. Meyer. Mit 3 Abb. (Bd. 271.)

Der Seekrieg. Eine geschichtliche Entwicklung vom Zeitalter der Entdeckungen bis zur Gegenwart. Von K. Freiherrn von Maltzahn, Vize-Admiral a. D. (Bd. 99.)

Die moderne Friedensbewegung. Von A. H. Fried. (Bd. 157.)

Die moderne Frauenbewegung. Ein geschichtlicher Überblick. Von Dr. K. Schirmacher. 2. Aufl. (Bd. 67.)

Rechts- und Staatswissenschaft. Volkswirtschaft.

Deutsches Fürstentum und dtsch. Verfassungsw. Von Prof. Dr. Ed. Hubrich. (Bd. 80.)

Grundzüge der Verfassung des Deutschen Reiches. Von Prof. Dr. E. Loening. 3. Aufl. (Bd. 34.)

Moderne Rechtsprobleme. Von Prof. Dr. J. Kohler. (Bd. 128.)

Die Psychologie des Verbrechers. Von Dr. P. Pollitz. Mit 5 Diagrammen. (Bd. 248.)

Strafe und Verbrechen. Von Dr. P. Pollitz. (Bd. 323.)

Verbrechen und Aberglaube. Skizzen aus der volkskundlichen Kriminalistik. Von Kammergerichtsref. Dr. A. Hellwig. (Bd. 212.)

Das deutsche Zivilprozeßrecht. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 315.)

Ehe und Eherecht. Von Prof. Dr. L. Wahrmund. (Bd. 115.)

Der gewerbliche Rechtsschutz in Deutschland. Von Patentanw. B. Tolksdorf. (Bd. 138.)

Die Miete nach dem B. G.-B. Ein Handbüchlein für Juristen, Mieter und Vermieter. Von Rechtsanw. Dr. M. Strauß. (Bd. 194.)

Das Wahlrecht. Von Reg.-Rat Dr. O. Poensgen. (Bd. 249.)

Die Jurisprudenz im häuslichen Leben. Für Familie und Haushalt dargestellt. Von Rechtsanw. P. Bienengräber. 2 Bde. (Bd. 219. 220.)

Finanzwissenschaft. Von Prof. Dr. S. P. Altmann. (Bd. 306.)

Soziale Bewegungen und Theorien bis zur modernen Arbeiterbewegung. Von G. Maier. 4. Aufl. (Bd. 2.)

Geschichte der sozialistischen Ideen im 19. Jahrh. Von Privatdoz. Dr. Fr. Muckle. 2 Bände. (Bd. 269. 270.) Band I: Der rationale Sozialismus. (Bd. 269.) Band II: Proudhon und der entwicklungsgeschichtliche Sozialismus. (Bd 270).

Geschichte des Welthandels. Von Prof. Dr. M. G. Schmidt 2. Aufl (Bd. 118.)

Geschichte d. deutschen Handels. Von Prof. Dr. W. Langenbeck. (Bd. 237.)

Deutschlands Stellung in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. P. Arndt. (Bd. 179.)

Deutsches Wirtschaftsleben. Auf geographischer Grundlage geschildert. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 3. Aufl. Neubearb. von Dr. H. Reinlein. (Bd. 42.)

Die Ostmark. Eine Einführung in die Probleme ihrer Wirtschaftsgeschichte. Von Prof. Dr. W. Mitscherlich. (Bd. 351.)

Die Entwicklung des deutschen Wirtschaftslebens im letzten Jahrh. Von Prof. Dr. L. Pohle. 2. Aufl. (Bd. 57.)

Das Hotelwesen. Von Paul Damm-Etienne. Mit 30 Abb. (Bd. 331.)

Die deutsche Landwirtschaft. Von Dr. W. Claaßen. Mit 15 Abb u. 1 Karte. (Bd. 215.)

Innere Kolonisation. Von A. Brenning. (Bd. 261.)

Antike Wirtschaftsgeschichte. Von Dr. O. Neurath. (Bd. 258.)

Aus dem amerikanischen Wirtschaftsleben. Von Prof. J. L. Laughlin. Mit 9 graph. Darst. (Bd. 127.)

Die Japaner in der Weltwirtschaft. Von Prof. Dr. K. Rathgen. 2. Aufl (Bd. 72.)

Die Gartenstadtbewegung. Von Generalsekr. H. Kampffmeyer. Mit 43 Abb. (Bd. 259.)

Das internationale Leben der Gegenwart. Von A. H. Fried. Mit 1 Tafel. (Bd. 226.)

Bevölkerungslehre. Von Prof. Dr. M. Haushofer. (Bd. 50.)

Arbeiterschutz und Arbeiterversicherung. Von Prof. Dr. O. v. Zwiedineck-Südenhorst. 2. Aufl. (Bd. 78.)

Das Recht der kaufmännischen Angestellten. Von Rechtsanwalt Dr. M. Strauß. (Bd. 361.)

Die Konsumgenossenschaft. Von Prof. Dr. F. Staudinger. (Bd. 222.)

Die Frauenarbeit. Ein Problem des Kapitalismus. Von Prof. Dr. R. Wilbrandt (Bd. 106.)

Grundzüge des Versicherungswesens. Von Prof. Dr. A. Manes. 2. Aufl. (Bd. 105.)

Verkehrsentwicklung in Deutschland. 1800—1900 (fortgeführt bis zur Gegenwart). Vorträge über Deutschlands Eisenbahnen und Binnenwasserstraßen, ihre Entwicklung und Verwaltung sowie ihre Bedeutung für die heutige Volkswirtschaft. Von Prof. Dr. W. Lotz. 3. Aufl. (Bd. 15.)

Das Postwesen, seine Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. (Bd. 165.)

Die Telegraphie in ihrer Entwicklung und Bedeutung. Von Postr. J. Bruns. Mit 4 Fig. (Bd. 183.)

Deutsche Schiffahrt und Schiffahrtspolitik der Gegenwart. Von Prof. Dr. K. Thieß. (Bd. 169.)

Erdkunde.

Mensch und Erde. Skizzen von den Wechselbeziehungen zwischen beiden. Von weil. Prof. Dr. A. Kirchhoff. 3. Aufl. (Bd. 31.)

Die Eiszeit und der vorgeschichtliche Mensch. Von Prof. Dr. G. Steinmann. Mit 24 Abb. (Bd. 302.)

Die Polarforschung. Geschichte der Entdeckungsreisen zum Nord- und Südpol von den ältesten Zeiten bis zur Gegenwart. Von Prof. Dr. K. Hassert. 2. Aufl. Mit 6 Karten. (Bd. 38.)

Die Städte. Geographisch betrachtet. Von Prof. Dr. K. Hassert. Mit 21 Abb. (Bd. 163.)

Wirtschaftl. Erdkunde. Von weil. Prof. Dr. Chr. Gruber. 2. Aufl. Bearbeitet von Prof. Dr. K. Dove. (Bd. 122.)

Politische Geographie. Von Dr. E. Schöne. (Bd. 353.)

Die deutschen Volksstämme und Landschaften. Von Prof. Dr. O. Weise. 4. Aufl. Mit 29 Abb. (Bd. 16.)

Ostseegebiet. Von Privatdozent Dr. G. Braun. (Bd. 367.)

Die Alpen. Von H. Reishauer. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 276.)

Die deutschen Kolonien. (Land und Leute.) Von Dr. A. Heilborn. 3. Aufl. Mit 26 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 98.)

Unsere Schutzgebiete nach ihren wirtschaftlichen Verhältnissen. Im Lichte der Erdkunde dargestellt. Von Dr. Chr. G. Barth. (Bd. 290.)

Australien und Neuseeland. Land, Leute und Wirtschaft. Von Prof. Dr. R. Schachner. (Bd. 366.)

Der Orient. Eine Länderkunde. Von E. Banse. 3 Bde. Mit zahlr. Abb. u. Karten. (Bd. 277. 278. 279.) Band I: Die Atlasländer. Marokko, Algerien, Tunesien. Mit 15 Abb., 10 Kartenskizzen, 3 Diagr. u. 1 Tafel. (Bd. 277.) Band II: Der arabische Orient. Mit 29 Abb. u. 7 Diagr. (Bd. 278.) Band III: Der arische Orient. Mit 34 Abb., 3 Kartenskizzen u. 2 Diagr. (Bd. 279.)

Anthropologie. Heilwissenschaft und Gesundheitslehre.

Der Mensch der Urzeit. Vier Vorlesungen aus der Entwicklungsgeschichte des Menschengeschlechts. Von Dr. A. Heilborn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abb. (Bd. 62.)

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grenzen des ärztlichen Wissens. Von Dr. E. Biernacki. Deutsch von Dr. S. Ebel. (Bd. 25.)

Der Arzt. Seine Stellung und Aufgaben im Kulturleben der Gegenwart. Ein Leitfaden der sozialen Medizin. Von Dr. med. M. Fürst. (Bd. 265.)

Der Aberglaube in der Medizin und seine Gefahr für Gesundheit und Leben. Von Prof. Dr. D. von Hansemann. (Bd. 83.)

Arzneimittel und Genußmittel. Von Prof. Dr. O. Schmiedeberg. (Bd. 363.)

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Prof. Dr. H. Sachs. 3. Aufl. Mit 37 Abb. (Bd. 32.)

Die Anatomie des Menschen. Von Prof. Dr. K. v. Bardeleben. 5 Bde. Mit zahlr. Abb. (Bd. 201. 202. 203. 204. 263.) I. Teil: Allg. Anatomie und Entwicklungsgeschichte. Mit 69 Abb. (Bd. 201.) II. Teil: Das Skelett. Mit 53 Abb. (Bd. 202.) III. Teil: Das Muskel- und Gefäßsystem. Mit 68 Abb. (Bd. 203.) IV. Teil: Die Eingeweide (Darm, Atmungs-, Harn- u. Geschlechtsorgane). Mit 38 Abb. (Bd. 204.) V. Teil: Statik und Mechanik des menschlichen Körpers. Mit 20 Abb. (Bd. 263.)

Moderne Chirurgie. Von Prof. Dr. Feßler. Mit Abb. (Bd. 339.)

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von weil. Prof. Dr. H. Buchner. 3. Aufl., besorgt von Prof. Dr. M. v. Gruber. Mit 26 Abb. (Bd. 1.)

Herz, Blutgefäße und Blut und ihre Erkrankungen. Von Prof. Dr. H. Rosin. Mit 18 Abb. (Bd. 312.)

Das menschliche Gebiß, seine Erkrankung und Pflege. Von Zahnarzt Fr. Jäger. Mit 24 Abb. (Bd. 229.)

Körperliche Verbildungen im Kindesalter und ihre Verhütung. Von Dr. M. David. Mit 26 Abb. (Bd. 321.)

Schulhygiene. Von Prof. Dr. L. Burgerstein. 3. Aufl. Mit 33 Fig. (Bd. 96.)

Vom Nervensystem, seinem Bau und seiner Bedeutung für Leib und Seele in gesundem und krankem Zustande. Von Prof. Dr. R. Zander. 2. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 48.)

Die fünf Sinne des Menschen. Von Prof. Dr. J. K. Kreibig. 2. Aufl. Mit 30 Abb. (Bd. 27.)

Das Auge des Menschen und seine Gesundheitspflege. Von Prof. Dr. med. G. Abelsdorff Mit 15 Abb. (Bd 149.)

Die menschliche Stimme und ihre Hygiene. Von Prof Dr. P. H. Gerber. 2. Aufl. Mit 20 Abb (Bd. 136.)

Die Geschlechtskrankheiten, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Bekämpfung und Verhütung. Von Generalarzt Prof Dr. W. Schumburg. 2. Aufl Mit 4 Abb. und 1 Tafel. (Bd. 251.)

Die Tuberkulose, ihr Wesen, ihre Verbreitung, Ursache, Verhütung und Heilung. Von Generalarzt Prof. Dr. W. Schumburg. 2. Aufl Mit 1 Tafel und 8 Figuren (Bd 47.)

Die krankheiterregenden Bakterien. Von Privatdoz. Dr. M. Loehlein. Mit 33 Abb. (Bd. 307.)

Geisteskrankheiten. Von Anstaltsoberarzt Dr. G. Ilberg. (Bd 151.)

Krankenpflege. Von Chefarzt Dr. B Leick. (Bd. 152.)

Gesundheitslehre für Frauen. Von weil. Privatdoz. Dr. R. Sticher. Mit 13 Abb. (Bd. 171.)

Der Säugling, seine Ernährung und seine Pflege. Von Dr. W. Kaupe. Mit 17 Abb. (Bd 154.)

Der Alkoholismus. Von Dr. G. B. Gruber. Mit 7 Abb. (Bd. 103.)

Ernährung und Volksnahrungsmittel. Von weil Prof. Dr. J. Frentzel. 2. Aufl. Neu bearb. von Geh. Rat Prof. Dr N. Zuntz. Mit 7 Abb. u. 2 Tafeln. (Bd. 19.)

Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. R. Zander. 3. Aufl. Mit 19 Abb. (Bd. 13.)

Naturwissenschaften. Mathematik.

Naturwissenschaften u. Mathematik im klassischen Altertum. Von Prof. Dr. Joh. L. Heiberg. (Bd. 370.)

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Prof. Dr. F. Auerbach. 3. Aufl. Mit 79 Fig. (Bd. 40.)

Die Lehre von der Energie. Von Dr. A. Stein. Mit 13 Fig. (Bd. 257.)

Moleküle — Atome — Weltäther. Von Prof Dr. G. Mie. 3. Aufl. Mit 27 Fig. (Bd. 58.)

Die großen Physiker und ihre Leistungen. Von Prof. Dr. F. A. Schulze. Mit 7 Abb. (Bd. 324.)

Werdegang der modernen Physik. Von Dr. H. Keller. (Bd. 343.)

Einleitung in die Experimentalphysik. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit zahlr. Abb. (Bd. 371.)

Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Graetz. 3. Aufl. Mit 117 Abb. (Bd. 17.)

Sichtbare und unsichtbare Strahlen. Von Prof. Dr. R. Börnstein u. Prof. Dr. W. Marckwald. 2. Aufl. Mit 85 Abb. (Bd. 64.)

Die optischen Instrumente. Von Dr. M. v. Rohr. 2. Aufl. Mit 84 Abb. (Bd. 88.)

Die Brille. Von Dr. M. von Rohr Mit zahlr. Abb. (Bd. 372.)

Spektroskopie. Von Dr. L. Grebe. Mit 62 Abb. (Bd. 284.)

Das Mikroskop, seine Optik, Geschichte und Anwendung. Von Dr. W. Scheffer. Mit 66 Abb. (Bd. 35.)

Das Stereoskop und seine Anwendungen. Von Prof. Th. Hartwig. Mit 40 Abb. u. 19 Taf. (Bd. 135.)

Die Lehre von der Wärme. Von Prof. Dr. R. Börnstein. Mit 33 Abb. (Bd. 172.)

Die Kälte, ihr Wesen, ihre Erzeugung und Verwertung. Von Dr. H. Alt. Mit 45 Abb (Bd 311.)

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Neun Vorträge aus dem Gebiete der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. 3. Aufl. Mit 115 Abb. (Bd. 5.)

Das Wasser. Von Privatdoz. Dr. O. Anselmino. Mit 44 Abb. (Bd. 291.)

Natürliche und künstliche Pflanzen- und Tierstoffe. Von Dr. B. Bavink. Mit 7 Fig. (Bd. 187.)

Die Erscheinungen des Lebens. Von Prof. Dr. H. Miehe. Mit 40 Fig. (Bd. 130.)

Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse. 3. Aufl. Mit 37 Fig. (Bd. 39)

Experimentelle Biologie. Von Dr. C. Thesing. Mit Abb. 2 Bde. Band I: Experimentelle Zellforschung. (Bd. 336.) Band II: Regeneration, Transplantation und verwandte Gebiete. (Bd. 337.)

Einführung in die Biochemie. Von Prof. Dr. W. Löb. (Bd. 352.)

Der Befruchtungsvorgang, sein Wesen und seine Bedeutung. Von Dr. E. Teichmann. Mit 7 Abb. u. 4 Doppeltaf. (Bd. 70.)

Das Werden und Vergehen der Pflanzen. Von Prof. Dr. P. Gisevius. Mit 24 Abb. (Bd. 173.)

Aus Natur und Geisteswelt.

Jeder Band geheftet M. 1.—, in Leinwand gebunden M. 1.25.

Vermehrung und Sexualität bei den Pflanzen. Von Prof. Dr. E. Küster. Mit 38 Abb. (Bd. 112.)

Unsere wichtigsten Kulturpflanzen (die Getreidegräser). Von Prof. Dr. K. Giesenhagen. 2. Aufl. Mit 38 Fig. (Bd. 10.)

Die fleischfressenden Pflanzen. Von Dr. A. Wagner. Mit Abb. (Bd. 344.)

Der deutsche Wald. Von Prof. Dr. H. Hausrath. Mit 15 Abb. u. 2 Karten. (Bd. 153.)

Die Pilze. Von Dr. A. Eichinger. Mit 54 Abb. (Bd. 334.)

Weinbau und Weinbereitung. Von Dr. F. Schmitthenner. (Bd. 332.)

Der Obstbau. Von Dr. E. Voges. Mit 13 Abb. (Bd. 107.)

Unsere Blumen und Pflanzen im Zimmer. Von Prof. Dr. U. Dammer. (Bd. 359.)

Unsere Blumen und Pflanzen im Garten. Von Prof Dr. U. Dammer. (Bd. 360.)

Kolonialbotanik. Von Prof. Dr. F. Tobler. Mit 21 Abb. (Bd. 184.)

Kaffee, Tee, Kakao und die übrigen narkotischen Getränke. Von Prof. Dr. A. Wieler. Mit 24 Abb. u. 1 Karte. (Bd. 132.)

Die Milch und ihre Produkte. Von Dr. A. Reitz. (Bd. 326.)

Die Pflanzenwelt des Mikroskops. Von Bürgerschullehrer E. Reukauf. Mit 100 Abb. (Bd. 181.)

Die Tierwelt des Mikroskops (die Urtiere). Von Prof. Dr. R. Goldschmidt. Mit 39 Abb. (Bd. 160.)

Die Beziehungen der Tiere zueinander und zur Pflanzenwelt. Von Prof. Dr. K. Kraepelin. (Bd. 79.)

Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Prof. Dr. K. Eckstein. 2. Aufl. Mit 51 Fig. (Bd. 18.)

Tierkunde. Eine Einführung in die Zoologie. Von weil. Privatdoz. Dr. K. Hennings. Mit 34 Abb. (Bd. 142.)

Vergleichende Anatomie der Sinnesorgane der Wirbeltiere. Von Prof. Dr. W. Lubosch. Mit 107 Abb. (Bd. 282.)

Die Stammesgeschichte unserer Haustiere. Von Prof. Dr. C. Keller. Mit 28 Fig. (Bd. 252.)

Die Fortpflanzung der Tiere. Von Prof Dr. R. Goldschmidt. Mit 77 Abb. (Bd. 253.)

Tierzüchtung. Von Dr. G. Wilsdorf. (Bd. 369.)

Deutsches Vogelleben. Von Prof. Dr. A. Voigt. (Bd. 221.)

Vogelzug und Vogelschutz. Von Dr. W. R. Eckardt. Mit 6 Abb. (Bd. 218.)

Korallen und andere gesteinbildende Tiere. Von Prof. Dr. W. May. Mit 455 Abb. (Bd. 231.)

Lebensbedingungen und Verbreitung der Tiere. Von Prof. Dr. O. Maas. Mit 11 Karten u. Abb. (Bd. 139.)

Die Bakterien. Von Prof. Dr. E. Gutzeit. Mit 13 Abb. (Bd. 233.)

Die Welt der Organismen. In Entwicklung und Zusammenhang dargestellt. Von Prof. Dr. K. Lampert. Mit 52 Abb. (Bd. 236.)

Zwiegestalt der Geschlechter in der Tierwelt (Dimorphismus). Von Dr. Fr. Knauer. Mit 37 Fig. (Bd. 148.)

Die Ameisen. Von Dr. Fr. Knauer. Mit 61 Fig. (Bd. 94.)

Das Süßwasser-Plankton. Von Prof. Dr. O. Zacharias. 2. Aufl. Mit 49 Abb. (Bd. 156.)

Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. O. Janson. 2. Aufl. Mit 41 Fig. (Bd. 30.)

Das Aquarium. Von E. W. Schmidt. Mit 15 Fig. (Bd. 335.)

Wind und Wetter. Von Prof. Dr. L. Weber. 2. Aufl. Mit 28 Fig. u. 3 Tafeln. (Bd. 55.)

Gut und schlecht Wetter. Von Dr. R. Hennig. (Bd. 349.)

Der Kalender. Von Prof. Dr. W. F. Wislicenus. (Bd. 69.)

Der Bau des Weltalls. Von Prof. Dr. J. Scheiner. 3. Aufl. Mit 26 Fig. (Bd. 24.)

Entstehung der Welt und der Erde nach Sage und Wissenschaft. Von Prof. Dr. B. Weinstein. (Bd. 223.)

Aus der Vorzeit der Erde. Von Prof. Dr. Fr. Frech. In 6 Bdn. 2. Aufl. Mit zahlr. Abbildungen. (Bd. 207—211, 61.) Band I: Vulkane einst und jetzt. Mit 80 Abb. (Bd 207.) Band II: Gebirgsbau und Erdbeben. Mit 57 Abb. (Bd. 208.) Band III: Die Arbeit des fließenden Wassers. Mit 51 Abb. (Bd 209.) Band IV: Die Arbeit des Ozeans und die chemische Tätigkeit des Wassers im allgemeinen. Mit 1 Titelbild und 51 Abb. (Bd. 210.) Band V: Kohlenbildung und Klima der Vorzeit. (Bd. 211.) Band VI: Gletscher einst und jetzt. 2. Aufl. (Bd. 61.)

Das astronomische Weltbild im Wandel der Zeit. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. Mit 24 Abb. (Bd. 110.)

Probleme der modernen Astronomie. Von Prof. Dr. S. Oppenheim. (Bd. 355.)

Die Sonne. Von Dr. A. Krause. Mit zahlreichen Abb. (Bd. 357.)

Der Mond. Von Prof. Dr. J. Franz. Mit 31 Abb. (Bd. 90.)

Die Planeten. Von Prof. Dr. B. Peter. Mit 18 Fig. (Bd. 240.)

Arithmetik und Algebra zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Crantz. In 2 Bdn. Mit zahlr. Fig. (Bd. 120. 205.) I. Teil: Die Rechnungsarten. Gleichungen ersten Grades mit einer und mehreren Unbekannten. Gleichungen zweiten Grades 2. Aufl. Mit 9 Fig. (Bd. 120.) II. Teil: Gleichungen. Arithmetische und geometrische Reihen. Zinseszins- und Rentenrechnung. Komplexe Zahlen. Binomischer Lehrsatz. 2. Aufl. Mit 21 Fig. (Bd. 205.)

Praktische Mathematik. Von Dr. R. Neuendorff. I. Teil: Graphisches u. numerisches Rechnen. Mit 62 Figuren und 1 Tafel. (Bd. 341.)

Planimetrie zum Selbstunterricht. Von Prof. Dr. P. Crantz. Mit 99 Fig. (Bd. 340.)

Einführung in die Infinitesimalrechnung mit einer historischen Übersicht. Von Prof. Dr. G. Kowalewski. Mit 18 Fig. (Bd. 197.)

Mathematische Spiele. Von Dr. W. Ahrens. 2. Aufl. Mit 70 Fig. (Bd. 170.)

Das Schachspiel und seine strategischen Prinzipien. Von Dr. M. Lange. Mit den Bildnissen E. Laskers und P. Morphys, 1 Schachbrettafel und 43 Darst. von Übungsspielen. (Bd. 281.)

Angewandte Naturwissenschaft. Technik.

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Von Prof. Dr. W. Launhardt. 3. Aufl.) Mit 16 Abb. (Bd. 23.)

Bilder aus der Ingenieurtechnik. Von Baurat K. Merckel. Mit 43 Abb. (Bd. 60.)

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Baurat K. Merckel. 2. Aufl. Mit 55 Abb. (Bd. 28.)

Die Handfeuerwaffen. Ihre Entwicklung und Technik. Von Hauptmann R. Weiß. Mit 69 Abb. (Bd. 364.)

Der Eisenbetonbau. Von Dipl.-Ing. E. Haimovici. Mit 81 Abb. (Bd. 275.)

Das Eisenhüttenwesen. Von Geh. Bergrat Prof. Dr. H. Wedding. 3. Aufl. Mit 15 Fig. (Bd. 20.)

Die Metalle. Von Prof. Dr. K. Scheid. 2. Aufl. Mit 16 Abb. (Bd. 29.)

Mechanik. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Ihering. 3 Bde. (Bd. 303/305.) Band I: Die Mechanik der festen Körper. Mit 61 Abb. (Bd. 303.) Band II: Die Mechanik der flüssigen Körper. Mit 34 Abb. (Bd. 304.) Band III: Die Mechanik der gasförmigen Körper. (In Vorb.) (Bd. 305.)

Maschinenelemente. Von Prof. R. Vater. Mit 184 Abb. (Bd. 301.)

Hebezeuge. Das Heben fester, flüssiger und luftförmiger Körper. Von Prof. R. Vater. Mit 67 Abb (Bd. 196.)

Dampf und Dampfmaschine. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 45 Abb. (Bd. 63.)

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen (Gasmaschinen). Von Prof. R. Vater. 3. Aufl Mit 33 Abb. (Bd. 21.)

Neuere Fortschritte auf dem Gebiete der Wärmekraftmaschinen. Von Prof. R. Vater. 2. Aufl. Mit 48 Abb. (Bd. 86.)

Die Wasserkraftmaschinen und die Ausnützung der Wasserkräfte. Von Kais. Geh. Reg.-Rat A. v. Ihering. Mit 73 Fig. (Bd. 228.)

Landwirtsch. Maschinenkunde. Von Prof. Dr. G. Fischer. Mit 62 Abb. (Bd. 316.)

Die Spinnerei. Von Dir. Prof. M. Lehmann. Mit Abb. (Bd. 338.)

Die technische Entwicklung der Eisenbahnen der Gegenwart. Von Eisenbahnbau- u. Betriebsinsp. E. Biedermann. Mit 50 Abb. (Bd. 144.)

Die Klein- und Straßenbahnen. Von Oberingenieur a. D. A. Liebmann. Mit 85 Abb. (Bd. 322.)

Das Automobil. Eine Einführung in Bau und Betrieb des modernen Kraftwagens. Von Ing. K. Blau. 2. Aufl. Mit 83 Abb. (Bd. 166.)

Grundlagen der Elektrotechnik. Von Dr. R. Blochmann. Mit 128 Abb. (Bd 168.)

Die Telegraphen- und Fernsprechtechnik in ihrer Entwicklung. Von Telegrapheninspektor H. Brick. Mit 58 Abb. (Bd. 235.)

Drähte und Kabel, ihre Anfertigung und Anwendung in der Elektrotechnik. Von Telegrapheninspektor H. Brick. Mit 43 Abb. (Bd. 285.)

Die Funkentelegraphie. Von Oberpostpraktikant H. Thurn. Mit 53 Illustr. (Bd. 167.)

Nautik. Von Dir. Dr. J. Möller. Mit 58 Fig. (Bd. 255.)

Die Luftschiffahrt, ihre wissenschaftlichen Grundlagen und ihre technische Entwicklung. Von Dr. R. Nimführ. 2. Aufl. Mit 42 Abb. (Bd. 300.)

Die Beleuchtungsarten der Gegenwart. Von Dr. W. Brüsch. Mit 155 Abb. (Bd. 108.)

Heizung und Lüftung. Von Ingenieur J. E. Mayer. Mit 40 Abb. (Bd. 241.)

Die Kultur der Gegenwart

Teil I, Abt. 4. II: **Systematische christliche Religion.** Bearbeitet von: E. Troeltsch, J. Pohle, J. Mausbach, C. Krieg, W. Herrmann, R. Seeberg, W. Faber, H. J. Holtzmann. 2., verb. Auflage. (VIII u. 279 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 6.60, in Leinwand geb. M. 8.—

„... Die Arbeiten des ersten Teiles sind sämtlich, dafür bürgt schon der Name der Verfasser, ersten Ranges. Am meisten Aufsehen zu machen verspricht Troeltsch' Aufriß der Geschichte des Protestantismus und seiner Bedeutung für die moderne Kultur.... Alles in allem, der vorliegende Band legt Zeugnis ab dafür, welche bedeutende Rolle für die Kultur der Gegenwart Christentum und Religion spielen." (Zeitschr. f. Kirchengeschichte.)

Teil I, Abt. 5. **Allgemeine Geschichte der Philosophie.** Bearbeitet v.: W. Wundt, H. Oldenberg, J. Goldziher, W. Grube, T. Jnouye, H. v. Arnim, Cl. Baeumker. W. Windelband. (VIII u. 572 S.) Lex.-8. 1909. Geh. M. 12.—, in Leinw. geb. M. 14.—

„... Man wird nicht leicht ein Buch finden, das, wie die ‚Allgemeine Geschichte der Philosophie' von einem gleich hohen überblickenden und umfassenden Standpunkt aus, mit gleicher Klarheit und Tiefe und dabei in fesselnder Darstellung eine Geschichte der Philosophie von ihren Anfängen bei den primitiven Völkern bis in die Gegenwart und damit eine Geschichte des geistigen Lebens überhaupt gibt." (Zeitschrift f. lateinl. höh. Schulen.)

Teil I, Abt. 6: **Systematische Philosophie.** Bearbeitet von: W. Dilthey, A. Riehl, W. Wundt, W. Ostwald, H. Ebbinghaus, R. Eucken, Fr. Paulsen, W. Münch, Th. Lipps. 2. Aufl. (X u. 435 S.) Lex.-8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„Hinter dem Rücken jedes der philosophischen Forscher steht Kant, wie er die Welt in ihrer Totalität dachte und erlebte; der ‚neukantische', rationalisierte Kant scheint in den Hintergrund treten zu wollen, und in manchen Köpfen geht bereits das Licht des gesamten Weltlebens auf." (Archiv für systematische Philosophie.)

„Um es gleich vorweg zu sagen: Von philosophischen Büchern, die sich einem außerhalb der engen Fachkreise stehenden Publikum anbieten, wüßte ich nichts Besseres zu nennen als diese Systematische Philosophie." (Pädagogische Zeitung.)

Teil I, Abt. 7: **Die orientalischen Literaturen.** Bearbeitet von: E. Schmidt, A. Erman, C. Bezold, H. Gunkel, Th. Nöldeke, M. J. de Goeje, R. Pischel, K. Geldner, P. Horn, F. N. Finck, W. Grube, K. Florenz. (IX u. 419 S.) Lex.-8. 1906. Geh. M. 10.—, in Leinw. geb. M. 12.—

„... So bildet dieser Band durch die Klarheit und Übersichtlichkeit der Anlage, Knappheit der Darstellung, Schönheit der Sprache ein in hohem Grade geeignetes Hilfsmittel zur Einführung in das Schrifttum der östlichen Völker, die gerade in den letzten Jahrzehnten unser Interesse auf sich gelenkt haben." (Leipziger Zeitung.)

Teil I, Abt. 8: **Die griechische und lateinische Literatur und Sprache.** Bearbeitet von: U. v. Wilamowitz-Moellendorff, K. Krumbacher, J. Wackernagel, Fr. Leo, E. Norden, F. Skutsch. 3. Auflage. (VIII u. 582 S.) Lex.-8. 1912. Geh. M. 12.—. in Leinwand geb. M. 14.—

„Das sei allen sechs Beiträgen nachgerühmt, daß sie sich dem Zwecke des Gesamtwerkes in geradezu bewundernswerter Weise angepaßt haben: immer wieder wird des Lesers Blick auf die großen Zusammenhänge hingelenkt, die zwischen der klassischen Literatur und Sprache und unserer Kultur bestehen." (Byzantinische Zeitschrift.)

Teil I, Abt. 9: **Die osteuropäischen Literaturen** und die slawischen Sprachen. Bearbeitet von: V. v. Jagić, A. Wesselovsky, A. Brückner. J. Máchal, M. Murko, A. Thumb, Fr. Riedl, E. Setälä, G. Suits, A. Bezzenberger, E. Wolter. (VIII u. 396 S.) Lex.-8. 1908. Geh. M. 10.—, in Leinwand geb. M. 12.—

„... Eingeleitet wird der Band mit einer ausgezeichneten Arbeit Jagićs über ‚Die slawischen Sprachen'. Für den keiner slawischen Sprache kundigen Leser ist diese Einführung sehr wichtig. Ihr folgt eine Monographie der russischen Literatur aus der Feder des geistvollen Wesselovsky. Die südslawischen Literaturen von Murko sind hier in deutscher Sprache wohl erstmals zusammenfassend behandelt worden. Mit Wolters Abschnitt der lettischen Literatur schließt der verdienstvolle Band, der jedem unentbehrlich sein wird, der sich mit dem einschlägigen Schrifttum bekannt machen will." (Berliner Lokal-Anzeiger.)

Mathematische Bibliothek.

Gemeinverständliche Darstellungen aus der Elementar-Mathematik für Schule und [illegible] Herausgegeben von Dr. W. Lietzmann und Dr. A. Witting. In Kleinoktavb[illegible] Kartoniert je ℳ —.80.

Zunächst sind erschienen:

1. E. Löffler, Ziffern und Ziffernsysteme der Kulturvölker in alter und neuer Zeit. [illegible]
2. H. Wieleitner, der Begriff der Zahl in seiner logischen u. histor. Entwicklung. Mit 10 [illegible]
3. W. Lietzmann, der pythagoreische Lehrsatz mit einem Ausblick auf das Fermatsche Problem. Mit 44 Figuren.
4. O. Meißner, Wahrscheinlichkeitsrechnung nebst Anwendungen. Mit 6 Figuren.

Encyklopädie der Elementar-Mathematik.

Ein Handbuch für Lehrer u. Studierende von H. Weber und J. Wellstein, Professoren an der Universität Straßburg. In 3 Bänden. gr. 8. In Leinwand geb.

I. Elementare Algebra und Analysis. Bearb. von H. Weber. 3. Aufl. Mit 40 Fig. 1909. ℳ 10.—

II. Elemente der Geometrie. Bearbeitet von H. Weber, J. Wellstein und W. Jacobsthal. 2. Auflage. Mit 251 Figuren. 1907. ℳ 12.—

III. Angewandte Elementar-Mathematik. 2. Auflage. I. Teil: Mathematische Physik. Mit einem Buch über Maxima und Minima von H. Weber und J. Wellstein. Bearbeitet von Rudolph H. Weber, Professor in Rostock. Mit 254 Figuren. 1910. ℳ 1[illegible]
II. Teil: Praktische Mathematik und Astronomie. [Unter der Presse.]

Grundlehren der Mathematik.

In 2 Teilen. Mit vielen Figuren. gr. 8. In Leinwand geb.

I. Teil: Die Grundlehren der Arithmetik und Algebra. Bearbeitet von E. Netto und C. Färber. 2 Bände.
I. Band: Arithmetik. Von Prof. Dr. C. Färber in Berlin. Mit 9 Figuren. 1911. ℳ [illegible]
II. Band: Algebra. Von Prof. E. Netto in Gießen. [In Vorbereitung.]

II. Teil: Die Grundlehren der Geometrie. Bearb. von W. Frz. Meyer u. H. Thieme. 2 Bände.
I. Band: Die Elemente der Geometrie. Bearbeitet von Prof. Dr. H. Thieme, Direktor des Realgymnasiums zu Bromberg. Mit 323 Figuren. 1909. ℳ 9.—
II. Band. [In Vorbereitung.]

Elemente der Mathematik.

Von Prof. Dr. E. Borel. Deutsche Ausgabe von Dr. P. Stäckel, Professor an der Techn. Hochschule in Karlsruhe. In 2 Bänden. gr. 8. In Leinwand geb.

I. Band: Arithmetik und Algebra. Mit 57 Figuren und 3 Tafeln. 1908. ℳ 8.60.
II. Band: Geometrie. Mit 403 Figuren. 1909. ℳ 6.40.

Elemente der Mathematik.

Von J. Tannery, Professor an der Universität Paris. Deutsche Ausgabe von Dr. P. Klaess in Echternach. Mit einem Einführungswort von F. Klein. gr. 8. 1909. Geh. ℳ [illegible], in Leinwand geb. ℳ 8.—

Taschenbuch für Mathematiker und Physiker.

Unter Mitwirkung zahlreicher Gelehrter herausgegeben von F. Auerbach und R. Rothe. II. Jahrgang 1910/11. Mit einem Bildnis H. Minkowskis. 8. 1912. In Leinwand geb. ℳ [illegible]

Die Elemente der analytischen Geometrie.

Von Dr. H. Ganter, Prof. an der Kantonsschule zu Aarau, und Dr. F. Rudio, Professor am Polytechnikum zu Zürich. Mit zahlreichen Übungsbeispielen. gr. 8. In 2 Teilen. In Leinwand geb. je ℳ 3.—

I. Die analytische Geometrie der Ebene. 7., verbesserte Auflage. Mit 5[illegible] Figuren. [illegible]
II. Die analytische Geometrie des Raumes. 4., verbesserte Auflage. Mit 20 Figuren. [illegible]

